



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRHY OPATŘENÍ ELIMINACE TEPELNÝCH
ZTRÁT BUDOV**

PROPOSALS FOR ACTION ELIMINATION OF HEAT LOSS IN BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Vašulka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Tomáš Vašulka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrhy opatření eliminace tepelných ztrát budov

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náklady na elektrickou energii a vytápění jsou základními výdaji každé domácnosti, proto se vyplatí hledat možné úspory, které by se pozitivně projevíly při ekonomické bilanci. Ne všechna opatření ale jsou z dlouhodobého hlediska výhodné, jak se na první pohled zdá.

V rámci realizace bakalářské práce budou provedeny návrhy pasivních i aktivních opatření, které povedou ke snížení energie potřebné pro vytápění rodinných domů. Bude proveden výpočet tepelných ztrát vzorového domu a ekonomické posouzení navržených opatření.

Cíle bakalářské práce:

- tvorba přehledu možných opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti
- výpočet tepelných ztrát vzorového domu
- návrhy opatření pro vzorový dům
- ekonomické posouzení návrhů

Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999. Stavitel. ISBN 80-716-9657-9.

MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2536-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o opatřeních vedoucích ke snížení tepelných ztrát pro modelový rodinný dům. V rešeršní části jsou shrnuty metody a materiály, které je možno použít k provedení zateplení obvodových konstrukcí. Dále je popsána funkce rekuperačních jednotek, které slouží ke snížení tepelné ztráty větráním. V další části je popsán výpočet tepelných ztrát objektu a stanovení nákladů za vytápění. Následně je navrženo několik variant zateplení. V závěru jsou zateplovací varianty porovnány z ekonomického hlediska.

Klíčová slova

Zateplování, tepelná ztráta, rekuperační jednotka, návratnost investice

ABSTRACT

This bachelor thesis is about measures leading to heat loss reduction for the model family house. In the research part, available methods and materials are summarized which can be used in thermal insulation of perimeter structures. In the next part, principle of recuperation unit is described which serves for decrease of heat loss by ventilation. Next, the calculation of heat loss is described with heating costs of the house. In the next part, several thermal insulation measures are proposed. In the end, the insulation measures are compared economically.

Key words

Thermal insulation, heat loss, recuperation unit, return of investment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAŠULKA, Tomáš. *Návrhy opatření eliminace tepelných ztrát budov*. Brno, 2019.
Bakalářská práce, 77 s., 8 příloh. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství.
Vedoucí práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Návrhy opatření eliminace tepelných ztrát budov*“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu použitých zdrojů.

.....
Datum

Tomáš Vašulka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Chtěl bych dále poděkovat Ing. Josefu Poláškov, který mi poskytl projektovou dokumentaci k jeho domu. Obrovský dík patří mým rodičům a přítelkyni Nikol za podporu po celou dobu mého studia.

1	Úvod.....	10
2	Popis modelového domu.....	11
3	Opatření pro úsporu energie	15
3.1	Principy přenosu tepla.....	15
3.2	Materiály pro zateplování.....	17
3.3	Způsoby zateplování	17
3.3.1	Vnitřní zateplování	17
3.3.2	Vnější zateplování.....	19
3.3.3	Zateplování střechy.....	28
3.3.4	Zateplování podlah obytných místností	31
3.4	Okna.....	31
3.5	Nucené větrání s rekuperací.....	34
4	Výpočet tepelné ztráty budovy	36
4.1	Klimatické údaje	36
4.2	Parametry objektu	36
4.3	Informace o materiálech.....	38
4.4	Celková návrhová tepelná ztráta vytápěné budovy	41
4.4.1	Návrhová tepelná ztráta prostupem.....	41
4.4.2	Návrhová tepelná ztráta větráním	45
4.4.3	Tepelný zátopový výkon.....	48
4.4.4	Návrhový tepelný výkon.....	49
4.4.5	Roční spotřeba tepla na vytápění	50
4.4.6	Náklady na vytápění	50
5	Opatření ke snížení energetické náročnosti objektu	51
5.1	Koncepce 1.....	52
5.2	Koncepce 2.....	54
5.3	Koncepce 3.....	56
5.4	Koncepce 4.....	58
5.5	Kombinace zateplovacích koncepcí.....	60
6	Shrnutí výsledků opatření na snížení tepelných ztrát	62
6.1	Využití dotačního programu NZÚ	63
7	Závěr.....	65
8	Seznam použitých zdrojů.....	67
9	Seznam použitých symbolů.....	72
10	Seznam obrázků.....	75
11	Seznam tabulek.....	76
12	Seznam příloh	77

1 Úvod

V současnosti je celospolečenským trendem snižování energetické náročnosti v mnoha odvětvích našich životů. Od nenáročných LED svítidel, přes nízkoenergetické elektrické domácí spotřebiče, po automobily s nízkou spotřebou. To samé platí i v oblasti výstavby a rekonstrukci budov. Snížení tepelných ztrát má za následek snížení nákladů na vytápění pro majitele objektu a zároveň snížení produkce skleníkových plynů, které vznikají při výrobě tepla a elektrické energie v elektrárnách nebo spalováním paliv v domácích podmínkách. To má za následek pozitivní dopad na životní prostředí.

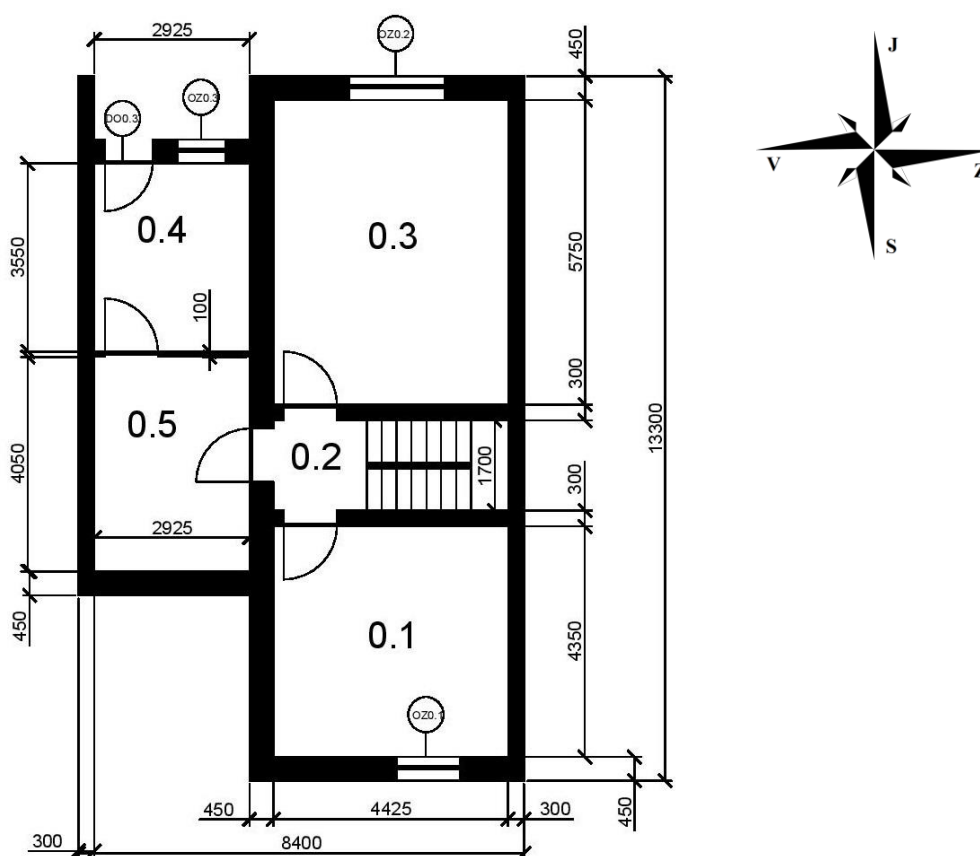
Úsporná opatření v oblasti snižování energetické náročnosti budov spočívají nejčastěji v izolování obvodového pláště, výměny starých otvorových výplní za nové, zateplení střech a podlah do nevytápěných prostor nebo využití rekuperační jednotky, která předává teplo z odpadního vzduchu čerstvému a tím snižuje tepelnou ztrátu větráním. Všechna tato opatření vedou v úsporu financí za vytápění a větší tepelný komfort obyvatel během topné sezóny i v horkých letních měsících.

Je dobré mít na paměti, že ne každá investice je výhodná. Proto je nutné předem vykalkulovat jaká bude úspora za vytápění a ekonomicky zvážit, zda je pro investora určitá varianta výhodná. Popřípadě, zda je možnost zažádat o dotační program.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou volby vhodného opatření a výběru materiálu pro zateplení rodinného domu, výpočtu tepelných ztrát a ekonomického posouzení vybraných opatření.

2 Popis modelového domu

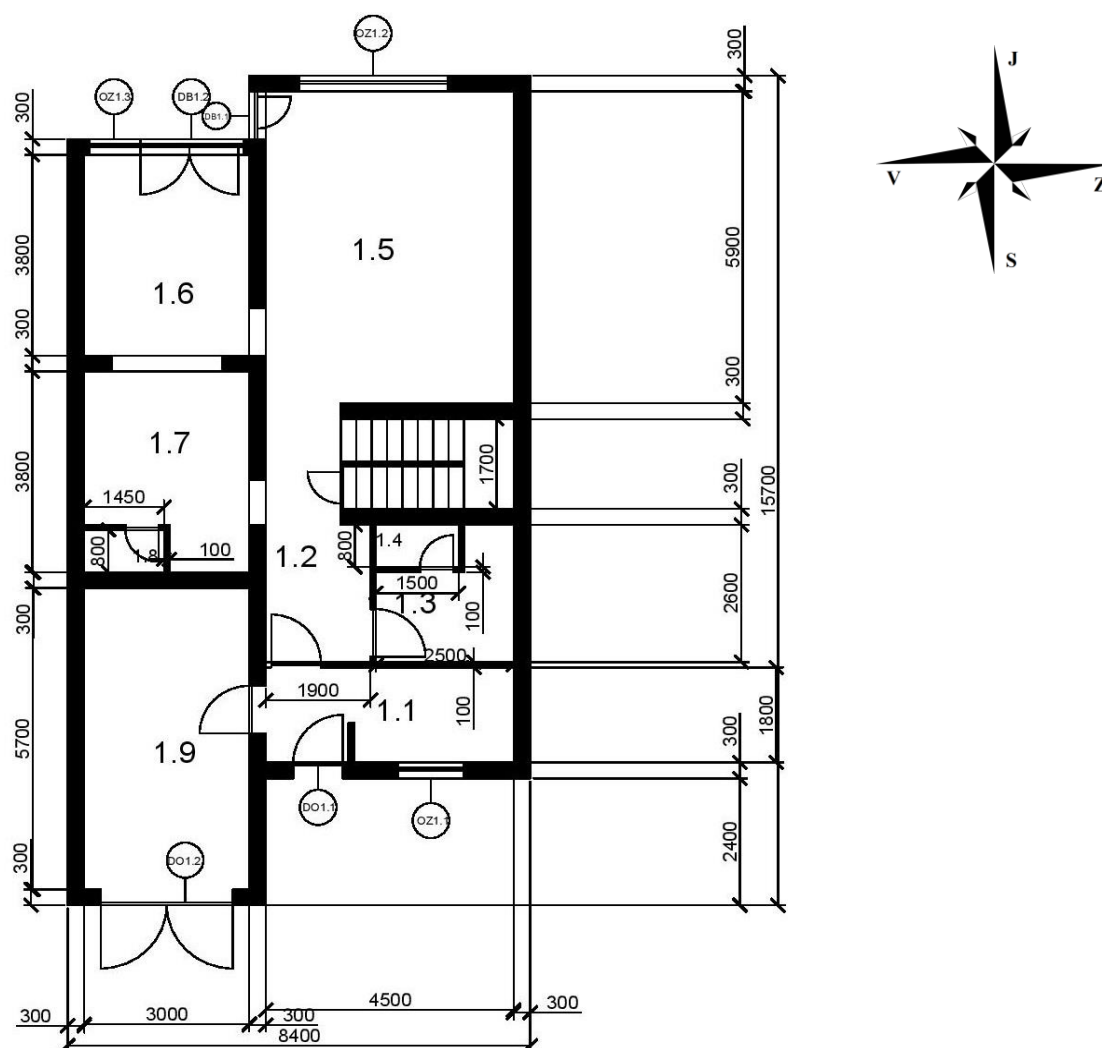
Pro svou bakalářskou práci jsem si jako model zvolil dvoupodlažní rodinný dům vystavěný v letech 1990 až 1992 ve městě Kyjov v okrese Hodonín. Objekt je součástí řadové výstavby a se sousedy jsou sdíleny stěny z obou stran. Svou polohou je vhodně orientován severojižním směrem a většina obytných místností je situována na jih. Při výstavbě obvodových zdí byly použity pórobetonové bloky. Střecha domu je sedlová a je pokryta betonovými taškami. Stropy tvoří stropní vložky Miako. Okna a balkonové dveře v objektu jsou dřevěná se zdvojeným sklem. Pro vytápění domu je použit kondenzační kotel o výkonu 21 kW. Obvodové stěny nejsou nijak tepelně izolovány; v prostoru pod střechou je instalována izolační vrstva z pěnového polystyrenu.



Obrázek 1 - půdorys suterénu

Tabulka 1 - legenda místností suterénu

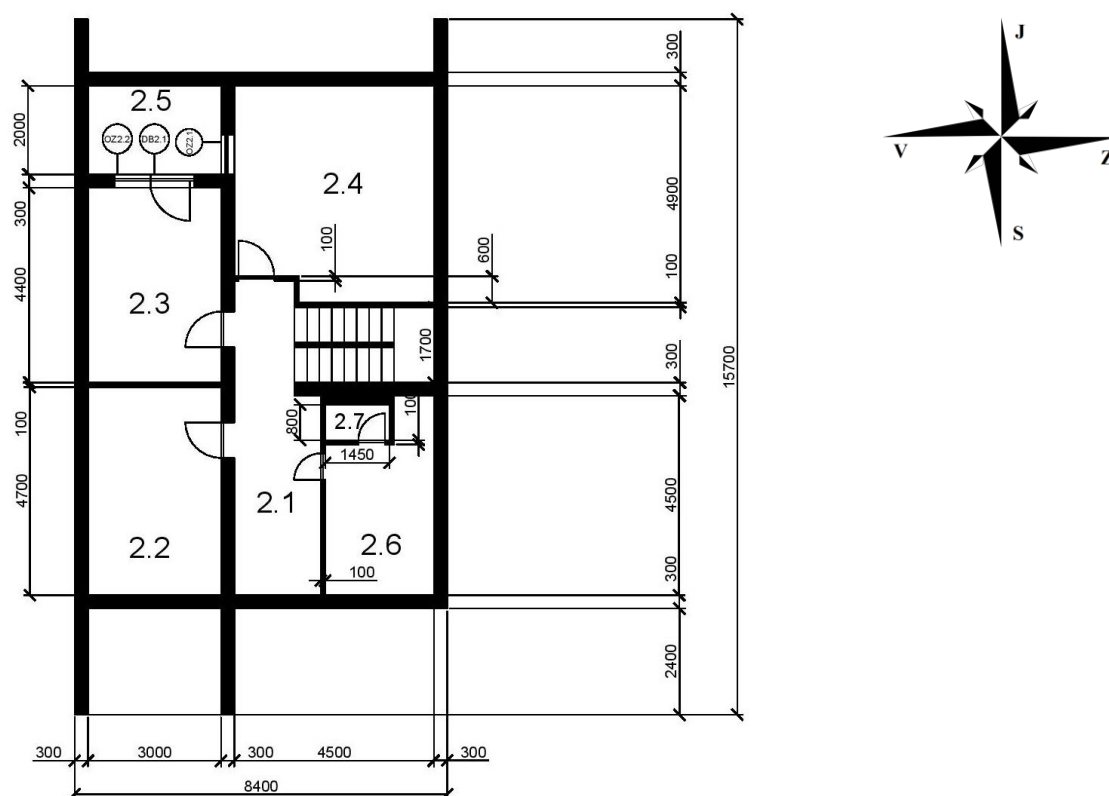
Označení místnosti	Název místnosti
0.1	Kotelna, sušárna
0.2	Schodiště
0.3	Dílna
0.4	Sklad
0.5	Sklad ovoce



Obrázek 2 - půdorys přízemí

Tabulka 2 - legenda místností přízemí

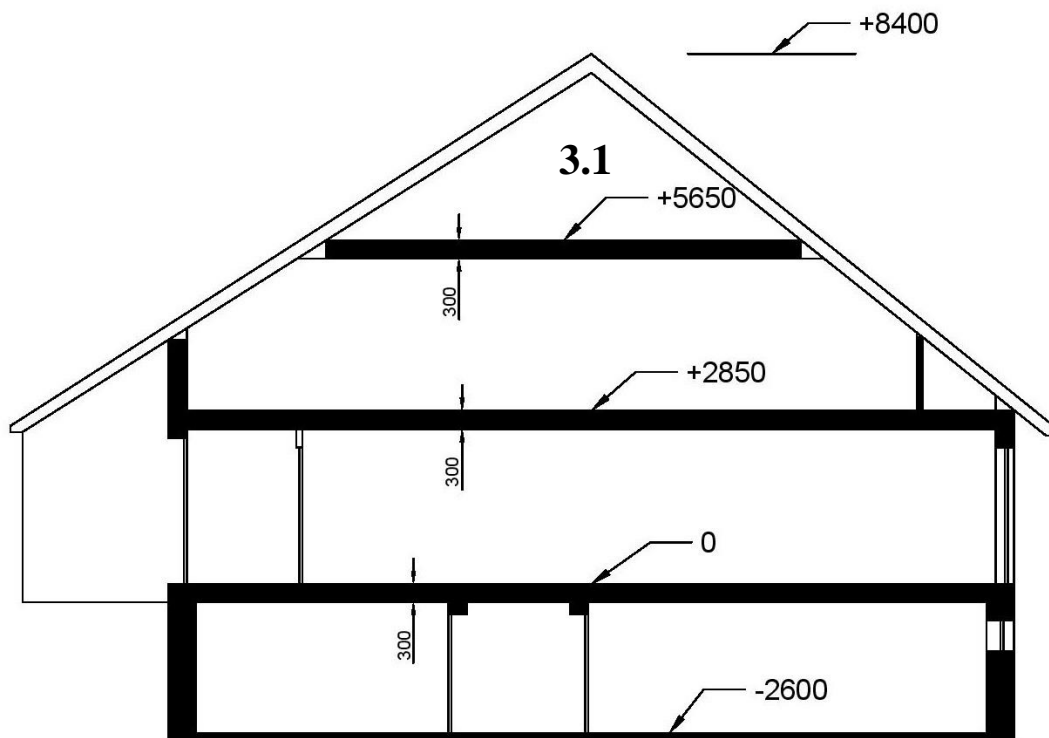
Označení místnosti	Název místnosti
1.1	Zádveří
1.2	Chodba
1.3	Umývárna
1.4	WC
1.5	Obývací pokoj
1.6	Jídlna
1.7	Kuchyně
1.8	Komora
1.9	Garáž



Obrázek 3 - půdorys podkrovní

Tabulka 3 - legenda místností podkrovní

Označení místnosti	Název místnosti
2.1	Chodba
2.2	Pokoj
2.3	Pokoj
2.4	Ložnice
2.5	Lodžie
2.6	Koupelna
2.7	WC



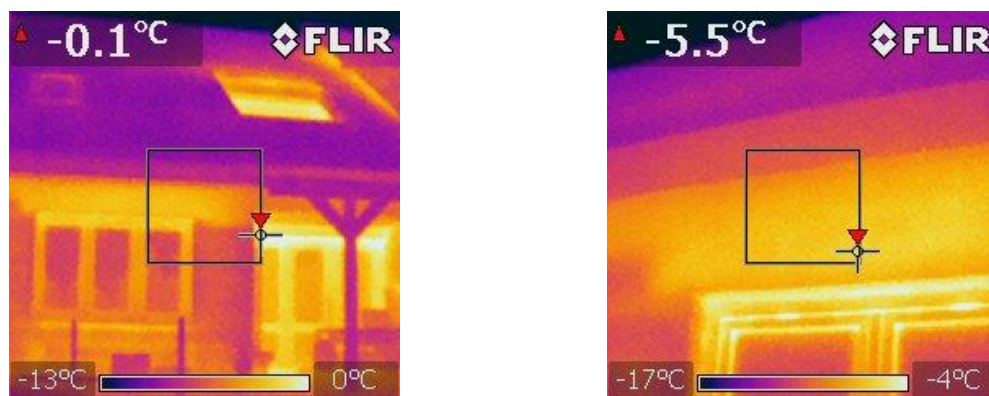
Obrázek 4 – řez objektem

Tabulka 4 – legenda místností půdního prostoru

Označení místnosti	Název místnosti
3.1	Půdní prostor

K vizualizaci tepelné ztráty jsem použil termovizní kameru, která odhalila tepelné mosty v konstrukci. Tepelné mosty způsobují zvýšení tepelné ztráty a v jejich přítomnosti dochází ke kondenzaci vodní páry a následné tvorbě plísní. [1]

Mezi tepelné mosty patří hlavně nadokenní překlady a konstrukce obsahující kovové prvky (železobeton) s vysokou hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ .



Obrázek 5 – záběry z termokamery

3 Opatření pro úsporu energie

První věcí, která většinou napadne každého investora při myšlence na úsporná opatření pro svůj objekt, je tepelná izolace. Ekonomicky smýšlející investor bere v potaz, že každá investice do způsobů úspory energie vede ve výsledku ke snížení budoucích výdajů. Vhodně provedená izolace má též přímý vliv na člověka v oblasti tepelné pohody a obsahu vodních par ve vzduchu, s čímž je spojen výskyt plísní. [1]

Následující kapitoly budou zaměřeny na ztátu tepla vedením skrze obvodové stěny, střechu a podlahu a také na ztráty prouděním neřízeným únikem vzduchu přes netěsnící dvěře a okna. Dále budou rozebrány způsoby, izolační materiály spolu s jejich fyzikálními vlastnostmi pro realizaci zateplení.

3.1 Principy přenosu tepla

Je důležité si uvědomit, že tepelné ztráty jsou důsledkem přenosu tepla z prostoru o vyšší teplotě (interiér) do prostoru o nižší teplotě (exteriér).

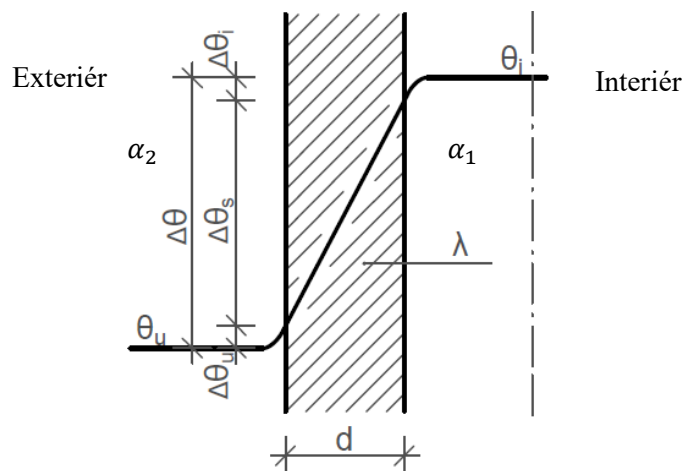
Mezi základní mechanizmy přestupu tepla patří: kondukce, konvekce, radiace. [2]

V této podkapitole budou stručně popsány principy, kterými se teplo předává.

Kondukce

Kondukce (vedení tepla) je charakterizováno přenosem energie od více energetických k méně energetickým částicím. Při rozdílných teplotách je kondukce orientována směrem z prostoru s vyšší teplotou do prostoru s teplotou nižší. [2]

V budovách se vyskytují zpravidla rovinné stěny, kdy vedení tepla skrz ně má průběh, který je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 6 – teplotní profil při vedení tepla rovinnou stěnou [3]

Charakteristickou veličinou pro vedení tepla je součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]. Tato veličina je konstantou pro daný materiál. Čím nižší hodnoty dosahuje, tím vyšší odpor tepelnému toku klade. Kondukce je popsána Fourierovým zákonem. [2]

Přenosu tepla vedením spolu s uvedením vzorců pro tepelnou vodivost λ , tepelný odpor R a součinitel prostupu tepla U_k se věnuji v kapitole 4.3 Informace o materiálech.

Konvekce

Neboli přenos tepla prouděním je mechanismus, který se uplatňuje hlavně u látek tekutých (plyny, kapaliny). Spočívá v předávání tepla z teplejšího média chladnějšímu, jako důsledek vzájemného pohybu obou látek. Konvekce je popsána Newtonovým ochlazovacím zákonem. [2]

U stavebních konstrukcí dochází k obtékání jejich povrchu vzduchem, kdy intenzita výměny tepla závisí především na rychlosti obtékajícího vzduchu, typu proudění (přirozené, nucené), tvaru stěny, vlastnostech tekutiny (tlak, teplota, hustota), teplotě stěny.

Na obrázku 6 si lze všimnout veličiny α , která se nazývá součinitel přestupu tepla a má rozměr $[W/m^2K]$. Tato veličina je důležitá k určení sdíleného tepla, ale také pro určení součinitele prostupu tepla U .

Určení součinitele přestupu tepla α bývá složité a je třeba využít bezrozměrná kritéria, mezi které patří Nusseltovo číslo, Reynoldsovo číslo, Prandltovo číslo, Grashofovo číslo a další. [4]

Při uvážení proudění kolem rovinné stěny, dostáváme vzorec pro určení součinitele přestupu tepla [4]:

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma R_i + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [W/m^2K] \quad (1)$$

kde: α_1 je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $[W/m^2K]$

α_2 je součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce $[W/m^2K]$

R_i je tepelný odpor konstrukce $[m^2K/W]$

Radiace

Tepelné záření emitují všechna tělesa, jejichž teplota je vyšší než 0 K . Tepelná ztráta radiací se zvětšuje s rostoucí teplotou objektu. Přenos tepla se uskutečňuje pomocí tepelného záření o vlnové délce $0,1\text{ }\mu m - 100\text{ }\mu m$. Přenos tepla radiací popisuje Stefan-Boltzmannův zákon. [2]

Tepelná ztráta radiací je zanedbatelná v rámci celkových tepelných ztrát objektů kvůli faktu, že teploty povrchů konstrukcí nedosahují vysokých teplot. Avšak redukci tepelných ztrát sáláním u oken se věnuje v kapitole 3.4 Okna.

3.2 Materiály pro zateplování

Na materiály použité pro izolaci objektů jsou kladeny nároky, které by měly být splněny, aby bylo dosaženo optimálního výsledku. Nejdůležitějším parametrem pro posouzení vhodnosti zvoleného materiálu je jeho tepelněizolační schopnost. Ta je dána součinitelem tepelné vodivosti λ [W/mK]. Tato veličina udává schopnost stejnorodého, izotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo. [5] Snažíme se vybrat materiál s co nejnižším součinitelem tepelné vodivosti.

Další důležitou veličinou pro popis izolačních materiálů je faktor difuzního odporu μ [-], který udává schopnost vrstvy materiálu propouštět vodní páru difuzí. [5]

Důležitá vlastnost materiálu, kterou musíme uvažovat, je její odolnost vůči požáru, která se označuje jako třída reakce na oheň. Izolační materiály jsou rozříděny od nehořlavých po hořlavé do kategorií A1-F dle normy ČSN EN 13501-1. [6]

Mezi další vlastnosti by měly spadat nízká hustota ρ [kg/m^3], se kterou se pojí snadná manipulace. Výhodnou vlastností je také zachování rozměrů při proměnlivém počasí.

3.3 Způsoby zateplování

V praxi se vesměs setkáváme se dvěma způsoby zateplení obvodových stěn, které je možné použít pro zaizolování objektu. Tím je vnitřní a vnější zateplení.

3.3.1 Vnitřní zateplování

K vnitřnímu zateplování je nutné přistupovat opatrně a zodpovědně, protože s sebou nese řadu nástrah. Vnitřní zateplování najde své uplnění v případech, kdy není možné zaizolovat objekt zvenčí. To nastává v případech památkově chráněných budov s historickou fasádou, u stěn pod úrovní terénu nebo u stěn, které jsou sdílené se sousedem. [7]

Při realizaci vnitřního zateplení se v zimním období posouvá průběh teplot směrem k interiéru a nulová teplota se dostane až k rozhraní vnitřní izolace a původní konstrukce, tím pádem dochází k podchlazení původní konstrukce. V létě je naopak stěna více ohřívána. Při podkročení rosného bodu vodní páry obsažené ve vzduchu dojde ke kondenzaci na vnitřní straně konstrukce. Tímto dochází k bujení plísní na rozhraní konstrukce a vnitřní izolace, čímž jsou ovlivněny i konstrukce kolmé na zateplený povrch (podlaha, strop) a jsou tím vystaveny stejným obtížím. Zvýšená vlhkost obsažená v konstrukci také výrazně snižuje její tepelně izolační schopnosti.

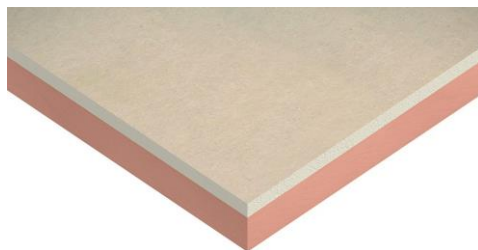
Při výrazném kolísání teplot v průběhu roku dochází k dilataci materiálu, z něhož je konstrukce zhotovena. Smršťování a rozpínání materiálu může vést ke vzniku trhlin. Provádění vnitřního zateplování vede k omezení provozu vnitřních prostor budovy během instalace. [8]

Důsledkem toho je nezdravé obytné prostředí pro člověka a v extrémním případě dochází ke statickému narušení konstrukce, což vede dokonce ke zborcení stropů a stěn. [1]

Přes nevýhody vnitřního zateplení najdeme na trhu několik firem, které se tomuto odvětví věnují.

Kooltherm K17

Izolační desky od firmy Kingspan se vyrábí z fenolické pěny, která vzniká napěněním pryskyřice do bloků a následným řezáním. Desky jsou opatřeny na jedné straně povrchovou úpravou na bázi skleněné tkaniny a na druhé straně je hliníková fólie, která slouží jako parozábrana. Na hliníkové fólii je nalepena sádkartonová deska. [9]



Obrázek 7 - izolace Kooltherm K17 [64]

Ytong Multipor

Jedná se o minerální tepelně izolační desky vyrobené z kalcium silikátového materiálu. Základními surovinami pro výrobu jsou písek, vápno, cement a voda. Materiál je vytvrzován po dobu deseti hodin při teplotě 190 °C a tlaku 12 MPa a následně vytvarován do bloků. Bloky jsou pro vodní páru propustné a dokáží nadbytečnou vlhkost absorbovat, u této technologie není potřeba parozábrana. [10]



Obrázek 8 – izolace Ytong Multipor [10]

Tabulka 5 – vlastnosti materiálů pro vnitřní zateplování [9], [10]

	Kooltherm K17	Ytong Multipor
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda [W/mK]$	0,020	0,045
Faktor difuzního odporu $\mu [-]$	583	3
Třída reakce na oheň	B	A1
Hustota $\rho [kg/m^3]$	35	115

3.3.2 Vnější zateplování

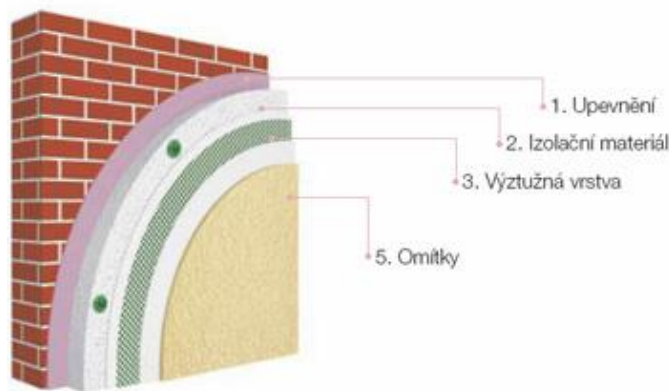
Vnější zateplování obvodových stěn objektů je vesměs rozšířenější a spolehlivější technologií než zateplování vnitřní. Na rozdíl od vnitřního zateplování nedochází ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, nýbrž na její vnější straně. Původní konstrukce je chráněna před výkyvy počasí, není tedy v zimě podchlazena a v létě se nepřehřívá. Tepelně klidnější konstrukce nedilatuje a je sníženo její mechanické namáhání. Souvisle provedená vnější izolace minimalizuje vznik tepelných mostů. V průběhu instalace vnějšího zateplení není narušen chod budovy a může probíhat za plného provozu. [8]

V praxi se můžeme setkat se dvěma způsoby vnějšího zateplování. A to s kontaktním zateplením a odvětrávaným systémem.

Kontaktní zateplování

Můžeme se setkat s označením ETICS (external thermal insulation composite systems). Tento způsob zateplování bývá použit ve většině případů. Izolační materiál je nalepen na povrch zateplované konstrukce, na povrch izolace se pak nanese obvykle tenkovrstvá omítka s výstužnou tkaninou. Podklad, na který je izolace nalepována musí být suchý, pevný a čistý. K připevňování izolace ke konstrukci mohou být použity také hmoždinky. Nevýhodou ETICS bývají horší difúzní vlastnosti. Mezi přednosti oproti odvětrávanému zateplení patří menší tepelné mosty kvůli kotvicím prvkům, nižší cena a menší tloušťka při stejných tepelněizolačních vlastnostech. [1]

Jako izolační materiál se volí nejčastěji pěnový polystyren, v dnešní době zpravidla šedý polystyren s přídavkem grafitu. Možnost je použití minerální vaty, která se využívá v situacích, kdy je potřeba dobré propustnosti vlhkosti nebo nehořlavosti. Mezi další možnosti výběru materiálu patří desky z PUR, PIR pěny. Popřípadě vakuové tepelné izolace, které mají nejlepší tepelné izolační vlastnosti. Jako alternativu je možné využít materiály rostlinného nebo živočišného původu. [11]



Obrázek 9 - kontaktní zateplení [12]

Odvětrávané zateplení

Principem se odvětrávané zateplení od kontaktního liší v zásadě tím, že je vytvořena vzduchová dutina mezi tepelněizolačním materiálem připevněným ke konstrukci a povrchovou úpravou za pomoci kotev nebo jiných pomůcek. Dutina disponuje otvory v dolní a horní části a slouží k odvodu vlhkosti z interiéru do exteriéru. Tloušťka dutiny je minimálně 40 mm. [1]

K odvodu vodní páry dochází k cirkulaci vzduchu vyvolané komínovým efektem. [13]

Odvětrávaná izolace nachází uplatnění u objektů, které mají problém se zvýšenou vlhkostí konstrukcí.

Použitá tepelněizolační hmota musí mít nízký faktor difuzního odporu μ , aby byla zajištěna dobrá průchodnost vodní páry, nejčastěji je použita kamenná vlna, nebo materiály rostlinného původu. Obkladová povrchová hmota má za úkol ochranu izolace před povětrnostními vlivy a srážkami, ale plní také funkci estetickou a chrání fasádu před přehříváním. Nevýhodou oproti kontaktnímu zateplování je větší výskyt tepelných mostů kvůli ukotvení, vyšší cena a větší přírůstek tloušťky na původní obvodové stěně. [1], [11]



Obrázek 10 - odvětrávané zateplení [14]

Po zvážení dostupných technologií pro zateplení vnějšího pláště modelového domu bude vhodné pro realizaci použít vnější kontaktní zateplení.

V dnešní době na trhu můžeme najít velkou spoustu tepelně izolačních materiálů, které můžeme použít pro zateplení obvodových stěn. V dalším textu uvedu zástupce těchto materiálů spolu s jejich vlastnostmi.

Expandovaný polystyren (bílý) EPS

EPS patří mezi nejvyužívanější materiály za účelem izolace objektů. Polystyren se vyrábí polymerací styrenu. Pro výrobu pěnového EPS se používá metoda zpěňování polystyrenu ve formě perli a následně zpěněná suspenze je vytvarována do bloků a řezána na konečný produkt. Své dobré tepelněizolační vlastnosti má díky své konečné struktuře obsahující vzduchové buňky, které jsou zde rovnoměrně rozmístěny. [15]

Při výrobě se do polystyrenu přidávají aditiva, která se označují jako retardéry hoření. Retardéry hoření způsobují, že materiál sám uhasne po odstranění zdroje hoření. Polystyrenové bloky se označují zkratkou EPS a číslem, které udává napětí v kPa při stlačení 10 % (např. EPS 100). Využití nachází při izolování plochých střech nebo podlah s malou zátěží. [16]



Obrázek 11 - expandovaný polystyren EPS (bílý) [17]

Tabulka 6 - vlastnosti expandovaného polystyrenu EPS (bílého) [16]

EPS (bílý)	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,040
Faktor difuzního odporu μ [-]	20 až 100
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	15 až 40

Expandovaný polystyren grafitový (šedý)

Vesměs se jedná o podobný materiál jako EPS bílý, avšak se do materiálu přidává přísada z grafitových nanočástic. Díky přidanému grafitu dosahuje materiál nižšího součinitele tepelné vodivosti λ . [16]



Obrázek 12 - expandovaný polystyren grafitový [18]

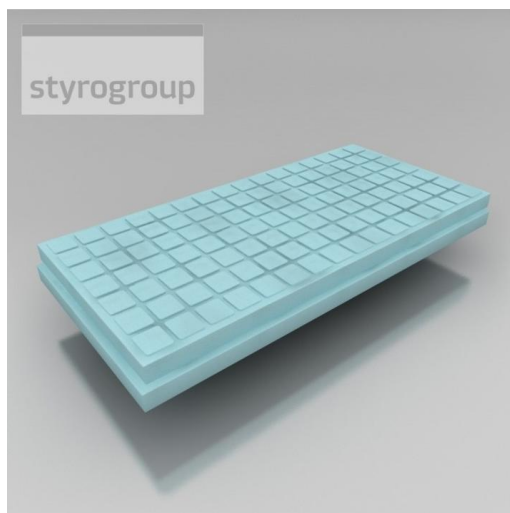
Tabulka 7 - vlastnosti expandovaného grafitového polystyrenu [16]

EPS grafitový	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,030 až 0,033
Faktor difuzního odporu μ [-]	20 až 100
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	10 až 40

Expandovaný perimetrický polystyren

Vyrábí se napěňováním perel polystyrenu přímo do jednotlivých forem, z nichž vznikají desky. [1] Povrch desek bývá obvykle drážkovaný nebo jinak profilovaný, popřípadě vytvarovaný do polodrážek.

Využívá se nejčastěji pro izolování podzemních částí budov, které jsou obvykle více namáhány vlhkostí. [16]



Obrázek 13 - perimetrický expandovaný polystyren [19]

Tabulka 8 – vlastnosti perimetrického expandovaného polystyrenu [16]

EPS perimetrický	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,034
Faktor difuzního odporu μ [-]	50 až 150
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	20 až 40

Extrudovaný polystyren XPS

Tento typ materiálu se prodává ve formě desek stejně jako u EPS. Extrudovaný polystyren se vyrábí z taveniny krystalovaného polystyrenu, kdy se hmota sytí vzpěňovadlem a následným uvolněním tlaku dochází k napěnění materiálu. [15]

Mezi výhody XPS oproti EPS patří uzavřená struktura pórů, což zvyšuje jeho odolnost vůči vlhkosti. Této schopnosti se využívá v případě izolování konstrukcí, které jsou ve styku s terénem (sokly, základy). Předností je větší mechanická odolnost, proto se používá u zateplování zatěžovaných podlah.

Podobně jako EPS se označuje jako XPS a číslo udávající napětí v kPa při 10 % stlačení materiálu. [16], [15]



Obrázek 14 - extrudovaný polystyren XPS [20]

Tabulka 9 – vlastnosti extrudovaného polystyrenu XPS [16]

XPS	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,030 až 0,038
Faktor difuzního odporu μ [-]	180
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	30 až 150

Kamenná (minerální) vlna

Tento izolační materiál se vyrábí roztavením hornin čediče, bazaltu nebo gabra. Suroviny jsou roztaveny na lávu v peci při teplotě kolem 1500 °C. Tekutá láva stéká na speciální disk, který rotuje několika tisíci otáčkami za sekundu a rozstříkuje ji a přetváří ji na vlákna, která jsou ochlazená vzduchem. Během procesu chlazení jsou přidávány pojiva (pryskyřice). Poté se vlákna slisují do rohoží nebo desek. [21]

Rohože bývají použity pro zateplování nezateplováných prostor jako jsou půdní prostory. Desky se používají při kontaktním zateplování ETICS, ale také pro odvětrávané izolační systémy nebo pro izolování šikmých střech.

Pro svou nehořlavost je kamenná vlna využívána u konstrukcí se zvýšeným požadavkem na požární bezpečnost. [22]



Obrázek 16 - desky z kamenné vlny [66]



Obrázek 15 - rohož kamenné vlny [65]

Tabulka 10 – vlastnosti kamenné vlny [22]

Minerální vlna	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,035 až 0,045
Faktor difuzního odporu μ [-]	1 až 2
Třída reakce na oheň	A1
Hustota ρ [kg/m^3]	30 až 100

Skelná vlna

Skelná vata se vyrábí roztavením skla a následného rozfoukání na jednotlivá vlákna. Vlákna jsou poté stlačena do rohoží nebo desek. Využití desek a rohoží ze skelné vlny se v zásadě neliší od izolování konstrukcí při použití minerální vlny, protože mají podobné vlastnosti. [22]



Obrázek 17 – skelná vlna [23]

Tabulka 11 – vlastnosti skelné vlny [22]

Skelná vlna	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,030 až 0,045
Faktor difuzního odporu μ [-]	1
Třída reakce na oheň	A1
Hustota ρ [kg/m^3]	15 až 35

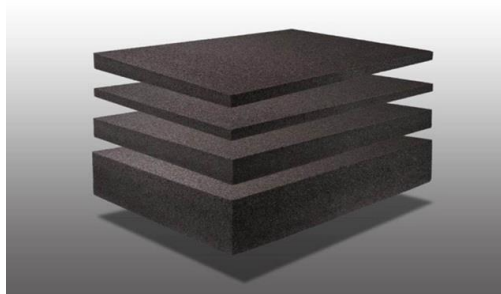
Pěnové sklo

Pěnové sklo se vyrábí ze skla nového nebo recyklovaného, které se roztaví na jemný prášek. Do skleněného prášku se přidává velmi jemná frakce uhlíkového prachu a směs je zahřívána v pecích na teplotu kolem 1000 °C. V pecích dochází k roztavení skla a během tohoto procesu dochází k produkci oxidu uhličitého oxidací uhlíku obsaženého ve směsi. Oxid uhličitý napění hmotu a zvětší tím její objem. [24]

Mezi přednosti pěnového skla patří vysoká odolnost při namáhání tlakem, proto se tento materiál používá při izolování zatížených konstrukcí (střechy a podlahy průmyslových objektů).

Struktura pěnového skla obsahuje malé uzavřené bublinky, které mají vysoký faktor difuzního odporu μ .

Díky tomu má pěnové sklo vysokou parotěsnost, nehořlavost a také odolnost vůči biologickým a chemickým vlivům. Nevýhodou je vyšší cena materiálu. Na trhu je možno sehnat pěnové sklo nejčastěji ve formě bloků nebo šterku. [25]



Obrázek 18 – desky z pěnového skla [26]

Tabulka 12 – vlastnosti desek z pěnového skla [25]

Pěnové sklo	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,040 až 0,060
Faktor difuzního odporu μ [-]	zcela parotěsný
Třída reakce na oheň	A1
Hustota ρ [kg/m^3]	120 až 190

PUR a PIR pěny

Pro izolování objektů se nejčastěji používají desky s polyuretanové (PUR) a polyisokianurátové (PIR) pěny.

Polyuretanové pěny vznikají vzájemnou reakcí polyadici diphenyldiisocyanátu a směsí vícesytných polyéter a polyester alkoholů, aktivátorů, katalyzátorů, stabilizátorů, retardérů hoření a vody.

Vznikající hmota se napěňuje a vytváří se uzavřená struktura s buňkami naplněných vzduchem. [27]

Často se setkáme s tím, že je pěna nalévána přímo na místě pro zaizolování a je přichycena k podkladovému materiálu (hliníkový plech nebo fólie). Slouží k izolování střeš a podlah. [28]

V porovnání s PUR je PIR odolnější proti ohni, má lepší tepelně izolační vlastnosti a má vyšší pevnost v tlaku. [27]



Obrázek 19 – deska z PIR pěny [29]

Tabulka 13 – vlastnosti PUR a PIR pěny [1], [28]

	PUR	PIR
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,024 až 0,035	0,035
Faktor difuzního odporu μ [-]	dle konkrétního složení	dle konkrétního složení
Třída reakce na oheň	C až E	C až E
Hustota ρ [kg/m^3]	20 až 60	35

Dřevovláknitá izolace

Tento materiál patří do skupiny izolací vyráběných z rostlinných obnovitelných zdrojů, jejich společnou vlastností je schopnost akumulace energie.

Dřevovláknitý materiál se vyrábí ze dřevních vláken s přidavkem síranu hlinitého, zpevňujících plnidel a dalších aditiv (hydrofobní materiál). V praxi se využívá izolace ve formě desek nebo foukaná varianta. Pomocí dřevovláknité izolace se zateplují podkroví nebo s materiálem o vyšší hustotě lze zaizolovat též fasádu nebo podlahu. V závislosti na hustotě jsou odvozeny faktor difuzního odporu μ nebo součinitel tepelné vodivosti λ , které s rostoucí hustotou rostou. [30]



Obrázek 20 – dřevovláknitá deska [31]

Tabulka 14 – vlastnosti dřevovláknitých desek [30]

Dřevovláknitá izolace	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,039 až 0,055
Faktor difuzního odporu μ [-]	1 až 10
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	50 až 300

Technické konopí

Technické konopí má oproti dřevu výhodu v tom, že roste mnohem rychleji a nevyžaduje příliš velkou péči. Izolační materiál se vyrábí z konopných vláken s příměsí sody, která omezuje náchylnost k hoření a výskytu plísni. Na trhu lze sehnat desky i rohože z konopí. [30], [24]



Obrázek 21 – konopná izolace [32]

Tabulka 15 – vlastnosti konopné izolace [30]

Konopná izolace	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,045
Faktor difuzního odporu μ [-]	1 až 2
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	30 až 100

Celulóza

Tepelně izolační materiály na bázi celulózy se vyrábí z recyklovaného papíru přidáním přídavných látek, které zvyšují schopnost bránit se proti ohni, plísni, hnilobám nebo škůdcům. Mezi tato aditiva řadíme boritany, síran hořečnatý a fosforečnan amonný. Tento materiál aplikujeme foukáním do dutin konstrukcí, kam celulózu dostáváme hnacím vzduchem. Aplikovat lze suchou celulózu nebo mokrou s malým množstvím přidané vody, která vyvolává přilepování materiálu na povrch zateplovaných konstrukcí. [30]



Obrázek 22 – celulózová izolace [33]

Tabulka 16 – vlastnosti celulózové izolace [30]

Celulózová izolace	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,040 až 0,055
Faktor difuzního odporu μ [-]	1 až 3
Třída reakce na oheň	C až E
Hustota ρ [kg/m^3]	13 až 50

Vakuové izolace

Panely vakuové izolace jsou označovány jako VIP. V materiálech zmíněných dříve byl hlavním faktorem tepelné izolace vzduch. Při odčerpání vzduchu lze docílit mnohem lepšího součinitele tepelné vodivosti λ , jelikož se tím potlačí tepelně vodivostní vlastnost plynu. Výrobci dnes dokáží docílit téměř stoprocentního vakua. Vnitřní výplň panelů tvoří shluky částic oxidu křemičitého, které tvoří síť označovanou jako aerogel. Výhodou těchto panelů je velmi nízká tloušťka a hodnota součinitele tepelné vodivosti λ . Desky mají nulovou nasákavost a schopnost tvarové stability. Nevýhodou je vysoká cena a náchylnost k mechanickému poškození. [24]



Obrázek 23 – vakuová izolace [34]

Tabulka 17 -vlastnosti vakuové izolace [35]

Vakuová izolace	
Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	0,007
Faktor difuzního odporu μ [-]	zcela parotěsný
Třída reakce na oheň	E
Hustota ρ [kg/m^3]	180 až 210

3.3.3 Zateplování střechy

V naší situaci, kdy náš modelový dům disponuje šikmou střechou, budu v následujícím textu rozebírat způsoby zateplení šikmých střech. Jejich zateplování je složitější než v případě střech plochých. Střechou odchází nezanedbatelné množství tepelné energie, kdy teplý vzduch z interiéru přirozeně stoupá vzhůru, v extrémních případech může střechou odcházet 50 % z celkových tepelných ztrát budovy. Dobře izolovaná střecha dokáže zajistit tepelnou pohodu pro obyvatele podkroví během horkých letních měsíců. [36]

V praxi se můžeme setkat se zateplováním nadkroevním a mezikroevním. Tyto typy izolování jsou vhodná v případech, že dojde k výměně střešní krytiny za novou nebo ponechání krytiny stávající.

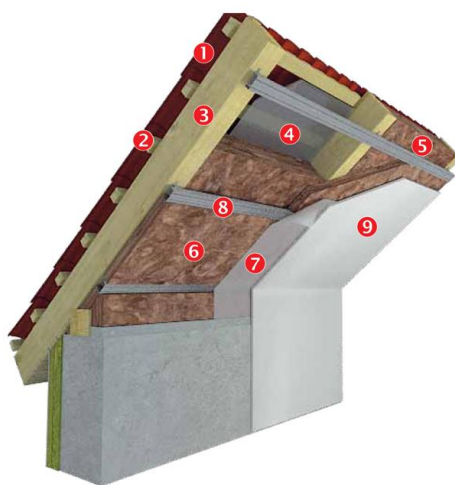
Izolování mezi krokvemi

V minulosti dominantní způsob zateplování, dnes je realizováno v kombinaci s přidáním další izolační vrstvy pod krokve. [37]

Dřevěné trámy tvořící krokve mají tepelnou vodivost větší než izolační materiál a vznikají tím tepelné mosty. V naprosté většině případů nejsou krokve dostatečně vysoké (maximálně 240 mm), aby se mezi ně vešla dostatečně silná vrstva izolační hmoty. Proto se přidává druhá vrstva izolace pod krokve silná 100 až 150 mm. Přidaná vrstva odstraňuje tepelné mosty. Snížení tepelně izolačních vlastností lze vyčíslit o 25 až 33 %. [1], [11]

Z pohledu izolačních materiálů se využívají minerální vlny (skelné nebo kamenné), které nařežeme a vkládáme do prostoru mezi krokve. Následně se přidá parotěsná fólie zamezující vstupu vlhkosti z interiéru. Přimontují se profily pro připevnění sádkartonu a nadále je přidána druhá vrstva izolace pod krokve. Na závěr se přimontují sádkartonové podhledy. [38]

Z venku je na krokve připevněna hydroizolace zabráňující vnikání vlhkosti do konstrukce a kontralatě vymezující vzduchovou mezeru pro cirkulaci vzduchu. Na kontralatě jsou přibity latě, na kterých je krytina. [1]



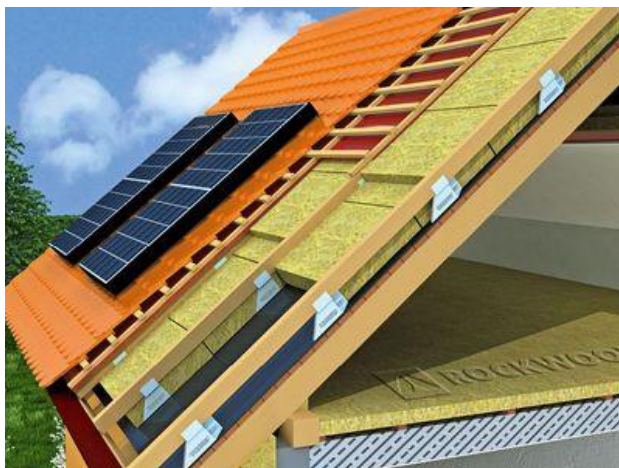
Obrázek 24 – zateplení střechy mezi a pod krokvemi [39]

Izolování nad krokvemi

Zateplování nad krokvemi zaručuje dostatek prostoru na libovolnou tloušťku izolačního materiálu. Navíc při instalaci shora je realizace pohodlnější a nabízí nám využití širšího výběru materiálu pro zateplení. Kromě minerální vlny je možno využít i desek z PUR/PIR pěny nebo EPS s vyšší pevností v tlaku.

Na krokve musí být přibito bednění z OSB desek po celé ploše, na které je nainstalována parotěsná zábrana. Následně připevníme tepelnou izolaci, na kterou se připevní pojistná hydroizolace a kontralatě takovým způsobem, aby nesjely po izolaci dolů. Nakonec se připevní latě a střešní krytina. [1]

Při využití nadkroevní izolace se minimalizuje výskyt tepelných mostů. V podkroví, kde není dostatek prostoru nám může tento způsob zateplení získat prostor navíc. Nevýhodou izolace nad krokvemi je vyšší cena v porovnání s mezikroevním a podkroevním zateplováním a vyšší potřeba ochrany vůči dešti. [40]



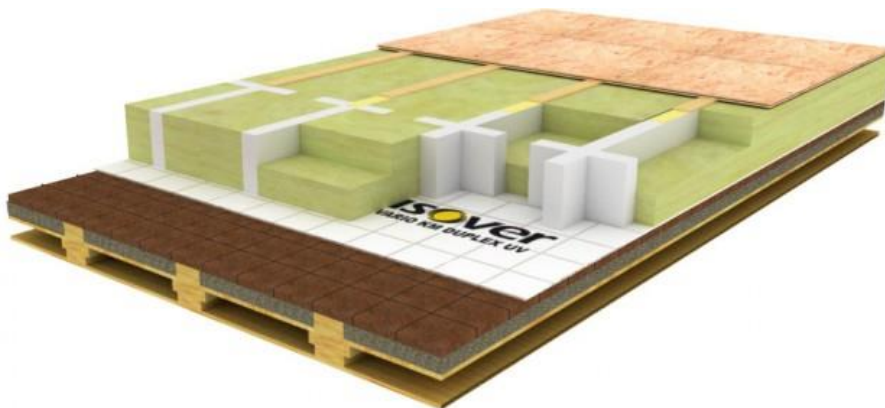
Obrázek 25 - zateplování střechy nad krokviemi [41]

Zateplení podlahy půdního prostoru

Modelový dům disponuje nad obytným podkrovím ještě půdním prostorem, kde by bylo vhodné zateplení podlahy, aby teplo neunikalo z vytápěných prostor pod ním a nehromadilo se v něm. Při provedení zateplení záleží, jak bude půda využívána.

Při nevyužívání prostor se volí varianta jednoduchého položení izolačního materiálu na podlahu. Nejčastěji se volí role minerální vlny s parotěsnou fólií na rozhraní podlahy a izolace k zabránění kondenzace páry. [42]

V případě, kdy chceme mít přístup na půdu a plně využívat pochozí vrstvu bez porušení položené izolace, volíme jinou metodu. Tento způsob spočívá v položení dřevěných trámů na původní podlahu. Prostor mezi nimi slouží k položení izolace. Nejčastěji je použita minerální vlna nebo celulóza a kuličky z pěnového polystyrenu. Na trámy se připevní podlaha z prken nebo OSB desek. [1]



Obrázek 26 – zateplení pochozí půdy [43]

Zateplení komína

Komín, jakožto propustující konstrukce tvoří nezanedbatelné tepelné mosty a je vhodné je zateplit. Izolace je nejčastěji prováděna minerální vlnou buď ve formě rohoží nebo desek, které se vyznačují svou odolností proti ohni. [1]

3.3.4 Zateplování podlah obytných místností

U obytných objektů je vhodné zvolit zateplení podlah kvůli zabezpečení tepelné pohody obyvatel v úrovni chodidel. Naší snahou je zateplit podlahy, které se nacházejí nad nevytápěnými místnostmi (sklep, garáž, vstupní chodba) nebo podlahy pod lodžií. Tím snížíme prostup tepla do těchto nevytápěných místností a snížíme tepelné ztráty, které mohou dosahovat až 10 % z celkových tepelných ztrát domu. Kvalitní zaizolování má za následek zvýšení povrchové teploty podlahy. Nejsnazším způsobem realizace zateplení je nalepení izolačního materiálu na strop nevytápěné místnosti. Kromě polyuretanového lepidla lze použít také hmoždinky. Nejčastěji se jako tepelněizolační materiál volí desky z pěnového polystyrenu EPS s povrchovou úpravou z tenkovrstvé omítky. V místech, kde je zvýšené riziko požáru (garáže, kotelny) je vhodné připevnit na strop izolaci z minerální vlny. Limitujícím faktorem při zateplování stropů je tloušťka izolační vrstvy, kdy při použití izolace na bázi EPS je třeba použít vrstvu silnou 80 až 160 mm. Řešení spočívá v instalaci desek z PUR nebo PIR pěny, popřípadě desek z fenolické pěny, které disponují menším součinitelem tepelné vodivosti λ . [11], [44]

3.4 Okna

Okna jsou nedílnou součástí obvodové konstrukce každého objektu a měly by hlavně chránit obyvatele interiéru před povětrnostními vlivy, umožňovat větrání, osvětlovat interiér, nepropouštět hluk. Mimo jiné by měly také chránit objekt proti vniknutí nepovolaných osob a chránit osoby v interiéru před vypadnutím. [45]

K tepelným ztrátám skrze okna dochází infiltrací, kdy vzduch proniká netěsnostmi mezi okenním křídlem a ostěním (pevný rám zasazený do stěny) nebo mezi ostěním a stěnou. Infiltrace většinou představuje největší podíl na tepelných ztrátách oken. Dá se zmírnit vhodným těsněním.

Dalším ze způsobů, kterými odchází teplo je konvekce (proudění). Kdy vrstva nepohyblivého se vzduchu, která slouží jako tepelný izolant se začne hýbat v důsledku rozdílu teplot. Tím pádem začne přenášet teplo. Nejvíce se konvekce projevuje u skel, která jsou od sebe dál.

K tepelným ztrátám dochází kondukcí (vedením). I když má vzduch dobré tepelněizolační vlastnosti se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$ při teplotě 20°C a tlaku 1 bar, tak existují plyny, které dosahují nižších hodnot součinitele tepelné vodivosti. Při stejných podmínkách má argon přibližně $\lambda = 0,018 \text{ W/mK}$, krypton $\lambda = 0,010 \text{ W/mK}$ a xenon $\lambda = 0,0055 \text{ W/mK}$. Ztráty tepla kondukcí se projevují nejvíce v případech, kdy jsou skla blízko u sebe. Pro zasklení s více skly se využívá plnění argonem, kryptonem nebo xenonem.

Tepelné ztráty radiací (zářením) rostou se zvyšující se teplotou okna. Tyto ztráty lze potlačit nanesením nízkoemisní vrstvy z kovu na povrch skla označována jako heat mirror. Tato vrstva propouští viditelné světlo, ale infračervené tepelné záření odráží.

Na oknech a v jejich bezprostřední blízkosti se nachází tepelné mosty, které mají za následek větší úniky tepla z interiéru. Dochází tím ke snížení povrchové teploty konstrukce pod teplotu rosného bodu vodní páry a časem k výskytu plísní. Tepelné mosty na ostění lze vyřešit přidáním izolačního materiálu. Pro eliminaci tepelného mostu tvořeného distančním rámečkem (těsnění skel zevnitř) se volí nejčastěji distanční rámeček z plastu místo kovu. [11]

Při výběru nových oken pro náš modelový objekt máme několik možností, ze kterých můžeme vybírat. Kritéria pro jejich výběr bývají nejčastěji počet skel v zasklení; materiál, který byl použit při jejich výrobě. V následujícím textu uvedu druhy oken podle materiálu, ze kterých jsou vyrobeny a jejich výhody a nevýhody.

Plastová okna

Tento typ oken je velmi oblíbený díky své nízké pořizovací ceně a nenáročné údržbě. Plastová okna se nejčastěji vyrábí extruzí polyvinylchloridu (PVC) bez změkčovadel, kdy se granule PVC zahřejí a pod tlakem se vhánějí do forem. Po ochlazení vzniká vícekomorový profil známý u plastových oken. Mezi výhody patří jejich tepelně-technické vlastnosti, které souvisí s hodnotou součinitele prostupu tepla U . Lepších hodnot součinitele prostupu tepla lze získat přidáním izolačního materiálu do jedné nebo více komor v profilu okna, nejčastěji izolace z PUR pěny nebo EPS.

Další výhodou plastových oken je odolnost proti korozi a povětrnostním vlivům. Jsou tzv. bezúdržbová, nemusí se obnovovat jejich povrchová úprava. V neposlední řadě se plastová okna mohou vyrábět v mnoha barevných variantách.

Nevýhody spočívají v nižší statické únosnosti plastových oken kvůli křehkosti PVC. Další nevýhodou je velká citlivost na zvýšenou teplotu. Tyto vlivy mohou vést k poškození okna. [45]



Obrázek 27 – plastové okno se šesti komorami s trojsklem [46]

Dřevěná okna

V dnešní době nelze použít masivní dřevo k výrobě dřevěných oken kvůli tvarové nestálosti. Místo toho se okna vyrábí slepováním jednotlivých dřevěných lamel a lamel z jiného materiálu k dosažení lepších tepelněizolačních vlastností.

Mezi výhody dřevěných oken patří dobré tepelněizolační a akustické vlastnosti, které vyplývají z přirozených vlastností dřeva. Dřevo dokáže mnohem lépe propouštět vlhkost z interiéru kvůli nízké hodnotě faktoru difuzního, který je pro dřevo $\mu = 157$. Profily lze libovolně upravovat dle individuálních požadavků při zachování statické bezpečnosti. Při správné údržbě dosahují dřevěná okna dlouhé životnosti.

Nevýhody dřevěných oken jsou spojeny s reakcí materiálu na zvýšenou vlhkost. Lak oken je citlivý na UV záření nebo povětrnostní podmínky a má tendenci s časem degradovat. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena v porovnání s plastovými okny. [45]



Obrázek 28 – dřevěné okno s trojsklem [47]

Hliníková okna

K výrobě se využívají dvě hliníkové části a část z tvrzeného PVC k eliminaci tepelného mostu a ke vzájemnému spojení obou hliníkových částí.

K přednostem patří nejvyšší statická odolnost, která zajišťuje možnost výroby oken velkých rozměrů. Je zaručena naprostá odolnost proti povětrnostním vlivům v porovnání s plastovými nebo dřevěnými okny. Hliníkové profily jsou štíhlé a přispívají k elegantnímu vzhledu oken. Díky zhotovení z kovu jsou plně recyklovatelné.

Nevýhodou je vysoká pořizovací cena. [45]



Obrázek 29 – hliníkové okno s trojsklem [48]

Vstupní dveře

Dveře do exteriéru se potýkají se stejnými problémy jako okna. Tepelné ztráty se uskutečňují hlavně mechanismy infiltrace a kondukce. Tepelné ztráty kondukcí lze vyřešit instalací dveří s dostatečně silnou vrstvou tepelněizolačního materiálu. Starší dveře je možné opatřit izolací svépomocí, nejčastěji izolací z EPS nebo fenolické pěny.

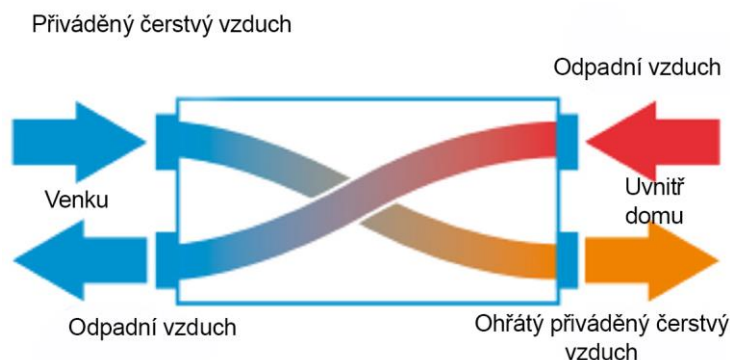
Nedokonalé těsnění dveří má za následek tvorbu škvírek, které se dají vyřešit instalací izolační pásky. V mnoha případech dochází k infiltraci pod dveřmi, což se dá eliminovat dostatečně vysokým prahem. [11]

3.5 Nucené větrání s rekuperací

Způsobem, kterým lze snížit tepelnou ztrátu větráním je zpětné získávání tepla (rekuperace) z odpadního vzduchu vypouštěného z interiéru. Tento systém se uplatňuje zpravidla současně s nucenou ventilací, která spočívá v tom, že při použití ventilátoru je nastaven více méně konstantní průtok vzduchu.

U novostaveb se větrání s rekuperací řeší centrálním způsobem. Rekuperační jednotka se umísťuje do technické místnosti nebo do prostoru v podkroví, rozvody vzduchu se pak nadále vedou ve stropěch nebo podlaze. U rekonstrukcí starších domů, kdy není možné rozvést větrací kanály, se rekuperační jednotky vkládají do obvodových stěn jednotlivých místností.

Principem rekuperace je předání tepla ze vzduchu odcházejícího z budovy čerstvému vzduchu nasávaného dovnitř z exteriéru. [11]



Obrázek 30 – princip rekuperace [49]

Rekuperační jednotky jsou vybaveny ventilátory pro přívod a odvod vzduchu. Hlavní roli ovšem hraje tepelný výměník uvnitř jednotky, který zprostředkuje výměnu tepla. V praxi se setkáváme s různými typy výměníků.

Deskový výměník

Tento typ výměníků je využíván hlavně v malých rekuperačních jednotkách. Odváděný vzduch z místnosti je nasáván do výměníku rekuperační jednotky, z exteriéru je nasáván čerstvý vzduch. Proud o vyšší teplotě předává teplo chladnějšímu přes vodivou desku (nerezovou ocel, hliník, plast). Proudů jsou konfigurovány do protiproudého uspořádání pro zajištění nejvyšší intenzity přestupu tepla. Proudů jsou od sebe nepropustně odděleny, nedochází k míchání vzduchu. [11], [50]

Entalpický výměník

Je typ výměníku, který je schopen část vlhkosti z odsávaného vzduchu přenést do vzduchu přicházejícího. Přenesení vlhkosti je možné docílit výměníkovými deskami propustnými pro molekuly vody. [11]

Entalpický výměník je užitečný hlavně v zimních měsících, kdy venkovní relativní vlhkost klesá až pod úroveň 20 % a po zahřátí je vlhkost příliš nízká pro vytvoření zdravých podmínek pro obyvatele. [50]

Ideálních výsledků je možné dosáhnout zakomponováním zemního výměníku (registru) do systému s rekuperační jednotkou. Zemní výměník je potrubí zakopané v zemině v dostatečné hloubce (minimálně 120 cm, obvykle 150 cm až 200 cm), kde v této hloubce dochází k minimálním výkyvům teplot po celý rok. Přes potrubí je nasáván vzduch z exteriéru do rekuperátoru. V zimním období dochází k předehřevu chladného vzduchu, v létě naopak dochází k ochlazení vzduchu. [51]

V praxi se setkáváme s pasivní a aktivní rekuperací. Pasivní spočívá v obvyčejném předání tepla z odpadního vzduchu čerstvému vzduchu. Aktivní pracuje podobně jako tepelné čerpadlo. Odpadní plyn předává teplo ve výparníku chladiva, které je dále stlačeno v kompresoru. Kondenzátorem prochází čerstvý vzduch z venku, který je ohříván teplem z kondenzujících par chladiva. Aktivní rekuperaci je možno využít k vytápění a ohřevu užitkové vody. [51], [52]

Nucené větrání s sebou nese řadu výhod, mezi které patří snížení nákladů na vytápění, jelikož rekuperační jednotky pracují s vysokou účinností předávání tepla (při použití zemního výměníku až 93 %). [53] Další výhodou je vysoká kvalita vzduchu v obývaných místnostech s nízkou koncentrací CO₂, díky filtrům je vzduch zbaven prachu a alergenů. Rekuperátory zajišťují konstantní úroveň vlhkosti vzduchu při problémech s nadbytečnou vlhkostí, ale také v objektech, kde obyvatelé trápí suchý vzduch. V domech po rekonstrukci, kdy majitelé vymění stará okna za těsná a nemůže docházet k infiltraci, rekuperátory předcházejí vzniku plísní. [11]

Mezi nevýhody se může řadit vysoká pořizovací cena, která je u pasivních rekuperačních jednotek do 50 000,- Kč. U aktivních jednotek s instalovaným zemním výměníkem se pořizovací cena šplhá přes 200 000,- Kč. Další nevýhodou jsou provozní náklady, které spočívají v čištění potrubí a výměně filtračních textilií, kde správnou údržbou lze dosáhnout životnosti systému až 15 let. [51], [53]

4 Výpočet tepelné ztráty budovy

Pro výpočet tepelných ztrát bude použita norma ČSN EN 12 831 – 1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor. [54]

Tepelné ztráty budov zahrnují ztráty skrz všechny stavební konstrukce objektu a ztráty větráním. Pod tepelnými ztrátami se rozumí množství tepla, které projde obvodovou konstrukcí objektu z interiéru do exteriéru za jednotku času. [11]

Norma stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát, který se skládá z následujících kroků [54]:

- Stanovení hodnoty výpočtové venkovní teploty a průměrné roční venkovní teploty.
- Stanovení stavu každého prostoru a hodnoty vnitřní výpočtové teploty každého vytápěného prostoru.
- Stanovení rozměrových a tepelných vlastností pro všechny stavební části a pro každý nevytápěný i vytápěný prostor.
- Výpočet součinitele návrhových tepelných ztrát prostupem a násobením návrhovým rozdílem teplot pro získání tepelných ztrát prostupem vytápěného prostoru.
- Výpočet součinitele návrhových tepelných ztrát větráním a násobením návrhovým rozdílem teplot pro získání tepelných ztrát větráním vytápěného prostoru.
- Stanovení celkové tepelné ztráty vytápěného prostoru sečtením návrhových tepelných ztrát prostupem a návrhových tepelných ztrát větráním.
- Výpočet zátopového výkonu vytápěného prostoru
- Stanovení celkového tepelného výkonu sečtením celkových návrhových tepelných ztrát a zátopového výkonu.

4.1 Klimatické údaje

Mezi klimatické údaje spadá určení výpočtové venkovní teploty θ_e a průměrné roční venkovní teploty $\theta_{e,m}$. Tyto hodnoty lze vyčíst v příloze normy ČSN EN 12 831 – 1. [54] V normě se nevyskytují údaje pro město Kyjov, proto využijí hodnoty teplot pro nejbližší město uvedené v tabulce 19, kterým je Hodonín.

Tabulka 18 – stanovené hodnoty teplot [54]

Označení		Jednotka	Hodnota
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	°C	-13
Průměrná roční venkovní teplota	$\theta_{e,m}$	°C	5,1

4.2 Parametry objektu

Mezi parametry místností se rozumí vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ pro každou místnost, která lze vyčíst v příloze normy ČSN EN 12 831 – 1 [54]. Dalšími parametry jsou plocha místnosti A_i a objem vzduchu v místnosti V_i .

Tabulka 19 – údaje o místnostech [54]

Označení místnosti	Název místnosti	Plocha A_i [m^2]	Objem vzduchu V_i [m^3]	Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ [$^{\circ}C$]
Suterén				
0.1	Kotelna, sušárna	19,25	44,27	15
0.2	Schodiště	7,23	16,62	10
0.3	Dílna	25,44	58,52	15
0.4	Sklad	10,38	23,88	15
0.5	Sklad ovoce	11,85	27,25	15
Přízemí				
1.1	Zádveří	8,10	20,66	15
1.2	Chodba	9,80	24,90	15
1.3	Umývárna	5,30	13,52	24
1.4	WC	1,20	3,06	24
1.5	Obývací pokoj	26,55	67,71	20
1.6	Jídelna	11,40	29,07	20
1.7	Kuchyně	10,24	26,11	20
1.8	Komora	1,16	2,96	15
1.9	Garáž	17,31	44,14	10
Podkroví				
2.1	Chodba	13,32	29,20	15
2.2	Pokoj	14,10	29,23	20
2.3	Pokoj	13,20	33,00	20
2.4	Ložnice	21,33	48,23	20
2.6	Koupelna	11,03	22,64	24
2.7	WC	1,16	2,90	24
Půdní prostor				
3.1	Půdní prostor	50,70	69,71	15

4.3 Informace o materiálech

Pro další postup je třeba znát materiálovou skladbu jednotlivých konstrukcí, ze kterých se objekt skládá. Nejdříve je potřeba zjistit hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ jednotlivých materiálů, ze kterého budu vycházet pro výpočet tepelného odporu R . Právě hodnoty těchto veličin využiji pro určení součinitele prostupu tepla U_k .

Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]

Tato veličina udává schopnost stejnorodého, izotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo. [5]

Hodnoty byly získány z programu Protech TV – norma ČSN EN 12 831, které jsou mimo jiné k nalezení v normě ČSN 73 0540–3: Návrhové hodnoty veličin. Součinitel tepelné vodivosti je definován z Fourierova zákona pro vedení tepla vztahem podle normy ČSN 73 0540-1 [5]:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad \theta} \quad [W/mK] \quad (2)$$

kde: \vec{q} je vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejným isotropním materiálem [W/m^2]

$grad \theta$ je gradient teploty [K/m]

Tabulka 20 – Zjištěné hodnoty součinitele tepelné vodivosti [55]

Číselný kód materiálu	Popis	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]
1	Omítka vápenná	0,880
2	Pórobeton	0,210
3	Omítka vápenocementová	0,990
4	Cihla plná	0,130
5	Asfaltové pásy a lepenky	0,210
6	Beton hutný	1,230
7	Vlasy	0,180
8	Tvarovky Miako	0,830
9	Malta cementová	1,160
10	Polystyren pěnový	0,044
11	Keramická dlažba	1,010
12	Desky z korku	0,064
13	Dřevo měkké rovnoběž. s vlákny	0,410
18	Vzduchová mezera	-

Tepelný odpor R [m^2K/W]

Je veličina, která vyjadřuje izolační schopnost vrstvy materiálu a udává odpor vůči šíření tepla skrze konstrukci. Tepelný odpor je definovaný vztahem [5]:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2K/W] \quad (3)$$

kde: d je tloušťka vrstvy [m]

λ je součinitel tepelné vodivosti [W/mK]

Je nutno rozlišit tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_{si} a tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce R_{se} vzduchové vrstvy. Hodnoty těchto odporů závisí na směru tepelného toku a jsou vyčteny ČSN 73 0540–3. [55]

Tabulka 21 – tepelný odpor v závislosti na směru tepelného toku [55]

Číselný kód materiálu	Tepelný odpor $R_{si,se}$ [m^2K/W]	Směr tepelného toku		
		dolů	vodorovně	nahoru
14	R_{si}	-	0,13	-
15	R_{se}	-	0,04	-
16	R_{si}	-	-	0,1
17	R_{si}	0,17	-	-

Součinitel prostupu tepla stavební částí U_k [W/m^2K]

Udává množství tepla, které projde stavební konstrukcí o ploše $1 m^2$ při teplotní diferenci $1 K$. Pro rovinnou stěnu je definován vztahem [54]:

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + \sum_1^n R_i + R_{se}} \quad [W/m^2K] \quad (4)$$

kde: R_{si} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m^2K/W]

R_i je tepelný odpor konstrukce [m^2K/W]

R_{se} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m^2K/W]

Tabulka 22 – výpočet součinitele prostupu tepla stavební konstrukcí U_k pro modelovou stěnu

Stavební část	Číselný kód materiálu	Popis	Tloušťka vrstvy d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	Tepelný odpor R [$m^2 K/W$]	Součinitel prostupu tepla U_k [$W/m^2 K$]
Stěna vnější						
SO1	14	R_{si} při vodorovném toku	-	-	0,13	-
	1	Omítka vápenná	0,01	0,880	0,011	-
	2	Pórobeton	0,3	0,210	1,429	-
	3	Omítka vápenocementová	0,02	0,990	0,020	-
	15	R_{se} při vodorovném toku	-	-	0,04	-
Celková hodnota R a U_k					1,630	0,713

Výpočet je proveden stejně pro všechny zbývající obvodové konstrukce, okna a dveře. Hodnoty součinitele U_k pro další obvodové konstrukce jsou uvedeny v příloze (viz Příloha 1) spolu se součinitelem prostupu tepla oken, který byl přímo určen v programu Protech TV – norma ČSN EN 12 831.

4.4 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěné budovy

Celková tepelná ztráta se skládá z dílčích ztrát tvořených únikem tepla prostupem skrze konstrukce a únikem tepla větráním. Je definována vztahem [54]:

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad [W] \quad (5)$$

kde: $\phi_{T,i}$ je návrhová tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru [W]

$\phi_{V,i}$ je návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru [W]

4.4.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem

Je dána rovnicí [54]:

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (6)$$

kde: $H_{T,ie}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e) [W/K]

$H_{T,iue}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem [W/K]

$H_{T,ig}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) [W/K]

$H_{T,ij}$ je měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru na výrazně jinou teplotu (j) [W/K]

$\theta_{int,i}$ je výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru [°C]

θ_e je výpočtová venkovní teplota [°C]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ [W/K]

Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí je tvořena částmi konstrukce, které oddělují vytápěný prostor od venkovního prostoru (podlahy, stropy, stěny, okna, příčky). Jedná se o zjednodušený vzorec, který nezahrnuje vliv tepelných mostů [54]:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad [W/K] \quad (7)$$

kde: A_k je plocha konstrukce budovy [m^2]

U_k je součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí [W/m^2K]

e_k je korekční činitel zahrnující klimatické podmínky, absorpci vlhkosti, rychlost větru [-]

Měrný tepelný tok prostupem přes nevytápěný prostor $H_{T,iue}$ [W/K]

V případě, že se mezi vytápěným prostorem a exteriérem nachází nevytápěný prostor, se stanoví tepelná ztráta vztahem [54]:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u \quad [W/K] \quad (8)$$

kde: b_u je součinitel redukce teploty, kterým je zohledněn rozdíl teplot mezi nevytápěným prostorem a výpočtovou venkovní teplotou [-]

Součinitel redukce teplot b_u lze podle normy ČSN EN 12 831 stanovit třemi metodami, pro jeho výpočet byl zvolen způsob [54]:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (9)$$

kde: θ_u je teplota nevytápěného prostoru [°C]

Měrný tepelný tok prostupem do zemin $H_{T,ig}$ [W/K]

Tato část tepelných ztrát vyjadřuje únik tepla přes podlahy nebo suterénní stěny, které jsou přímo nebo nepřímo v kontaktu se zemí. Určí se ze vztahu, který je zjednodušený a v normě ČSN EN 12 831 popsán [54]:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_W \quad [W/K] \quad (10)$$

kde: f_{g1} je opravný teplotní součinitel uvažující roční změnu venkovní teploty [-]

f_{g2} je opravný teplotní součinitel uvažující s rozdílem mezi roční průměrnou teplotou a venkovní výpočtovou teplotou [-]

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (11)$$

$U_{equiv,k}$ je ekvivalentní součinitel prostupu tepla, který je určen podle podlahy [W/m²K]

G_W je opravný součinitel uvažující vliv spodní vody, při vzdálenosti hladiny od podlahy suterénu menší než 1 m, se nemusí tento součinitel uvažovat [-]

Charakteristické číslo B' [m] je potřebné k určení ekvivalentního součinitele prostupu tepla $U_{equiv,k}$. Charakteristické číslo se vypočítá jako [54]:

$$B' = \frac{A_g}{0,5P} \quad [m] \quad (12)$$

kde: A_g je plocha podlahy suterénu [m²]

P je obvod podlahové konstrukce [m]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru s výrazně jinou teplotou
 $H_{T,ij}$ [W/K]

Udává tepelnou ztrátu do/z vytápěného prostoru budovy do nebo ze sousedního vytápěného prostoru, který je vytápěn na výrazně jinou teplotu (koupelna) nebo místnost patřící sousední přilehlé budově, která může být i nevytápěná. Spočítá se podle vztahu [54]:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [W/K] \quad (13)$$

kde: f_{ij} je součinitel snížení teploty zahrnující rozdíl mezi teplotou přilehlého prostoru a venkovní výpočtovou teplotu [-]

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ sousedního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (14)$$

kde: $\theta_{vytápěného\ sousedního\ prostoru}$ je teplota sousedního vytápěného prostoru [°C]

Tabulka 23 - výpočet tepelné ztráty prostupem vzorové místnosti

Místnost 1.5 – Obývací pokoj				
Tepelné ztráty do vnějšího prostředí $H_{T,ie}$				
Stavební část	A_k [m ²]	U_k [W/m ² K]	e_k [–]	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]
Stěna vnější SO1	8,15	0,713	1	5,807
Okno dřevěné 270/180 OZ1.2	4,86	2,400	1	11,664
Balkonové dveře 90/240 DB1.1	2,16	2,400	1	5,184
Celková měrná tepelná ztráta do vnějšího prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]				22,655
Tepelné ztráty přes nevytápěný prostor $H_{T,iue}$				
Stavební část	A_k [m ²]	U_k [W/m ² K]	b_u [–]	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]
Strop nad sklepem STR1	26,55	1,779	0,3	14,169
Stěna vnitřní 300 mm SN0.1	7,91	0,585	0,15	0,701
Stěna k sousední nadzemní SO2	15,05	0,688	0,15	1,553
Celková měrná tepelná ztráta přes nevytápěný prostor $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]				16,423
Tepelné ztráty do zeminy $H_{T,ig}$				
Celková měrná tepelná ztráta do zeminy $H_{T,ig} = \sum_k f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_W$ [W/K]				0,00
Tepelné ztráty do místností s odlišnou teplotou $H_{T,ij}$				
Celková měrná tepelná ztráta do místností s odlišnou teplotou $H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$ [W/K]				0,00
Teplotní údaje				
Venkovní výpočtová teplota θ_e		[°C]		-13
Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$		[°C]		20
Teplotní rozdíl $\theta_{int,i} - \theta_e$		[°C]		33
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ [W]			1289,574	

Tepelné ztráty prostupem pro další místnosti jsou provedeny obdobným způsobem a jsou k nalezení v příloze (viz Příloha 2).

4.4.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním je uskutečněna výměnou vzduchu mezi vnitřním a venkovním prostředím vlivem rozdílných teplot. Tepelná ztráta větráním se vypočítá ze vztahu [54]:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (15)$$

kde: $H_{V,i}$ je měrná tepelná ztráta větráním $[W/K]$

Měrná tepelná ztráta větráním $H_{V,i} [W/K]$

Tato veličina se určí ze vztahu [54]:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho_{vzd} \cdot c_p \quad [W/K] \quad (16)$$

kde: \dot{V}_i je objemový tok vzduchu ve vytápěném prostoru $[m^3/s]$

ρ_{vzd} je hustota vzduchu při teplotě interiéru $[kg/m^3]$

c_p je měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě interiéru $[kJ/kgK]$

V případě, že je konstantní ρ a c_p se vzorec zjednodušuje na vztah [54]:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad [W/K] \quad (17)$$

Potom se objemový tok vzduchu \dot{V}_i vyjádří v jednotkách $[m^3/h]$.

V modelovém objektu se nenachází systém nuceného větrání, výměna vzduchu probíhá infiltrací skrze netěsnosti v konstrukcích a přirozeným větráním. Tím pádem má přírodní vzduch parametry stejné jako venkovní vzduch. Hodnota objemového toku vzduchu \dot{V}_i je vyšší hodnota z objemového toku vzduchu infiltrací $\dot{V}_{inf,i}$ spárami, netěsnostmi pláště budovy a minimálního objemového toku vzduchu požadovaného z hygienických důvodů $\dot{V}_{min,i}$. [54]

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad [m^3/h] \quad (18)$$

kde: $\dot{V}_{inf,i}$ je objemový tok vzduchu infiltrující vytápěný prostor $[m^3/h]$

$\dot{V}_{min,i}$ je objemový tok požadovaný z hygienických důvodů $[m^3/h]$

Infiltrace pláštěm budovy $\dot{V}_{inf,i}$ [m^3/h]

Pod infiltrací obvodovým pláštěm budovy se rozumí množství vzduchu, které proniká do budovy skrz spáry a netěsnosti v konstrukci větrem a komínovým efektem. Určí se ze vztahu [54]:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [m^3/h] \quad (19)$$

- kde: V_i je objem vytápěného prostoru [m^3]
 n_{50} je intenzita výměny vzduchu při rozdílu 50 Pa mezi vnitřním a venkovním prostředím, hodnoty lze vyčíst v příloze normy ČSN EN 12 831 [54] [h^{-1}]
 e_i je stínící součinitel, který je závislý na počtu oken [-]
 ε_i je opravný součinitel na výšku, který zahrnuje rychlost větru v závislosti na výšce patra od úrovně terénu [-]

Množství vzduchu požadované z hygienických důvodů $\dot{V}_{min,i}$ [m^3/h]

Jedná se o minimální množství vzduchu, které je vyžadováno z hygienických důvodů. Lze ho určit ze vztahu [54]:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [m^3/h] \quad (20)$$

- kde: n_{min} je nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu [h^{-1}].

Hodnoty byly vyčteny z normy ČSN EN 12 831. [54]

Tabulka 24 - minimální intenzita výměny vzduchu [54]

Nejmenší intenzita proudění vzduchu	
Typ místnosti	$n_{min}[h^{-1}]$
Obytné místnosti	0,5
Kuchyně a koupelny	1,5
Kanceláře	1,0
Školní třídy	2,0

Tabulka 25 – Výpočet tepelné ztráty větráním v přízemí

Označení místnosti		1.1 Zádvěří	1.2 Chodba	1.3 Umývárna	1.4 WC	1.5 Obývací pokoj	1.6 Jídelna	1.7 Kuchyně	1.8 Komora	1.9 Garáž
Objem místnosti V_i [m^3]		20,66	24,90	13,52	3,06	67,71	29,07	26,11	2,96	44,14
Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ [$^{\circ}C$]		15	15	24	24	20	20	20	15	10
Vnější výpočtová teplota θ_e [$^{\circ}C$]		-13								
Množství vzduchu požadované hygienou	Min. intenzita výměny vzduchu $n_{min,i}$ [h^{-1}]	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1
	Min. množství vzduchu $\dot{V}_{min,i}$ [$\frac{m^3}{h}$]	10,33	12,45	20,28	4,59	33,86	14,54	39,17	1,48	44,14
Množství infiltrovaného vzduchu	Nechráněné otvory [–]	2	0	0	0	2	2	0	0	1
	Intenzita výměny vzduchu při rozdílu 50 Pa n_{50} [h^{-1}]	7								
	Stínící součinitel e_i [–]	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02
	Výškový korekční činitel ε_i [–]	1								
	Množství infiltr. vzd. $\dot{V}_{inf,i}$ [$\frac{m^3}{h}$]	8,677	0,00	0,00	0,00	28,438	12,209	0,00	0,00	12,359
Výpočet tepelné ztráty větráním	Zvolená výpočtová hodnota $\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i})$ [$\frac{m^3}{h}$]	10,33	12,45	20,28	4,59	33,86	14,54	39,17	1,48	44,14
	Měrná tepelná ztráta větráním $H_{V,i}$ [W/K]	3,512	4,233	6,895	1,561	11,512	4,944	13,318	0,503	15,008
	Teplotní rozdíl $\theta_{int,i} - \theta_e$ [$^{\circ}C$]	28	28	37	37	33	33	33	28	23
	Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ [W]	98,336	118,524	255,115	57,757	379,896	163,152	439,494	14,084	345,184

Tepelná ztráta větráním pro zbylá patra (podkroví, půdní prostor, suterén) byla vypočtena dle stejného postupu jako v tabulce 25 a jsou zaneseny v příloze (viz Příloha 3).

4.4.3 Tepelný zátopový výkon

Jedná se o dodatečný zátopový výkon, který slouží pro dosažení požadované vnitřní výpočtové teploty místností s přerušovaným vytápěním. Zátopový tepelný výkon je závislý na různých parametrech (intenzita větrání, tepelná kapacita stavebních částí, přípustná doba zátopu).

Pro objekty, u kterých je útlum vytápění menší než 8 hodin a nejsou zhotoveny z lehkých materiálů, lze využít zjednodušený vztah [54]:

$$\phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [W] \quad (21)$$

kde: f_{RH} je korekční součinitel závislý na době zátopu a předpokládaném poklesu vnitřní teploty v útlumové době [W/m^2]

Tabulka 26 - vypočtené hodnoty tepelného zátopového výkonu

Označení místnosti	Korekční součinitel $f_{RH} [W/m^2]$	Plocha místnosti $A_i [m^2]$	Zátopový výkon $\phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} [W]$
0.1	16	19,25	308
0.2		7,23	115,68
0.3		25,44	407,04
0.4		10,38	166,08
0.5		11,85	189,6
1.1		8,10	129,6
1.2		9,80	156,8
1.3		5,30	84,8
1.4		1,20	19,2
1.5		26,55	424,8
1.6		11,40	182,4
1.7		10,24	163,84
1.8		1,16	18,56
1.9		17,31	276,96
2.1		13,32	213,12
2.2		14,10	225,6
2.3		13,20	211,2
2.4		21,33	341,28
2.6		11,03	176,48
2.7		1,16	18,56
3.1		50,70	811,2
			Σ 4640,8

4.4.4 Návrhový tepelný výkon

Návrhový tepelný výkon ϕ_{HL} se pak stanoví jako součet tepelné ztráty prostupem, větráním a zátopového výkonu. Zjistí se dle vztahu [54]:

$$\phi_{HL,i} = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad [W] \quad (22)$$

Tabulka 27 - tepelný výkon RD

Označení místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} [W]$	Tepelná ztráta větráním $\phi_{V,i} [W]$	Tepelný zátopový výkon $\phi_{RH,i} [W]$	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i} [W]$
0.1	411,579	210,725	308	930,304
0.2	-205,183	64,984	115,68	-24,519
0.3	689,041	278,555	407,04	1374,636
0.4	292,725	113,668	166,08	572,473
0.5	90,535	129,71	189,6	409,845
1.1	761,544	98,336	129,6	989,48
1.2	-45,068	118,524	156,8	230,256
1.3	217,412	255,115	84,8	557,327
1.4	75,628	57,757	19,2	152,585
1.5	1289,574	379,896	424,8	2094,27
1.6	984,984	163,152	182,4	1330,536
1.7	265,353	439,494	163,84	868,687
1.8	-55,3	14,084	18,56	-22,656
1.9	855,647	345,184	276,96	1477,791
2.1	-55,188	138,992	213,12	296,924
2.2	454,609	163,98	225,6	844,189
2.3	510,807	185,13	211,2	907,137
2.4	770,156	270,57	341,28	1382,006
2.6	468,148	270,57	176,48	915,198
2.7	47,034	54,723	18,56	120,317
3.1	246,625	331,82	811,2	1389,645
Σ	8070,662	4084,969	4640,8	16796,43

4.4.5 Roční spotřeba tepla na vytápění

Slouží k určení nákladů na vytápění za otopné období v roce. V praxi se využívá denostupňová metoda a v předchozí části vypočtený tepelný výkon. Určí se ze vztahu [56]:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \phi_{HL} \cdot D}{\theta_{int,m} - \theta_{e,m}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad [GJ/rok] \quad (23)$$

kde: ε je opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelné ztráty na zmenšení tepelné ztráty, volí se v rozmezí $\varepsilon = 0,60$ až $0,85$ [-] [56]

η_o je účinnost regulace, zvolena $\eta_o = 0,95$ [-] [56]

η_r je účinnost rozvodu otopného média, zvolena $\eta_r = 0,98$ [-] [56]

D je počet denostupňů a je definován vztahem [56]:

$$D = d \cdot (\theta_{int,m} - \theta_{e,m}) \quad [K \cdot den] \quad (24)$$

d je počet dní otopného období, hodnota byla odečtena pro Hodonín 208 dní z přílohy normy ČSN EN 12 831 [54]

$\theta_{int,m}$ je průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C]

$\theta_{e,m}$ je průměrná venkovní teplota za otopné období [°C]

Výpočet počtu denostupňů:

Průměrná vnitřní teplota $\theta_{int,m} = 17,67$ °C

Průměrná venkovní teplota za otopné období $\theta_{e,m} = 5,1$ °C

$$D = d \cdot (\theta_{int,m} - \theta_{e,m}) = 208 \text{ den} \cdot (17,67 - 5,1)^\circ\text{C} = 2613,87 \text{ K} \cdot \text{den}$$

Výpočet roční spotřeby na vytápění:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \phi_{HL} \cdot D}{\theta_{int,m} - \theta_{e,m}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = \frac{0,8}{0,95 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 16796,43 \text{ W} \cdot 2613,87 \text{ K} \cdot \text{den}}{[17,67 - (-13)]^\circ\text{C}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 106,3 \text{ GJ/rok}$$

4.4.6 Náklady na vytápění

Po zjištění, kolik tepelné energie je třeba na pokrytí tepelných ztrát modelového objektu $Q_{VYT,r}$, je možné určit celkové roční náklady na vytápění. Modelový rodinný dům je vybaven plynovým kondenzačním kotlem. Dodavatelem plynu je společnost MND s cenovým tarifem 1,296 Kč za 1kWh, cena byla zjištěna z fakturačních údajů. Náklady za vytápění přibližně korespondují s fakturami.

Tabulka 28 - náklady za vytápění RD, původní stav

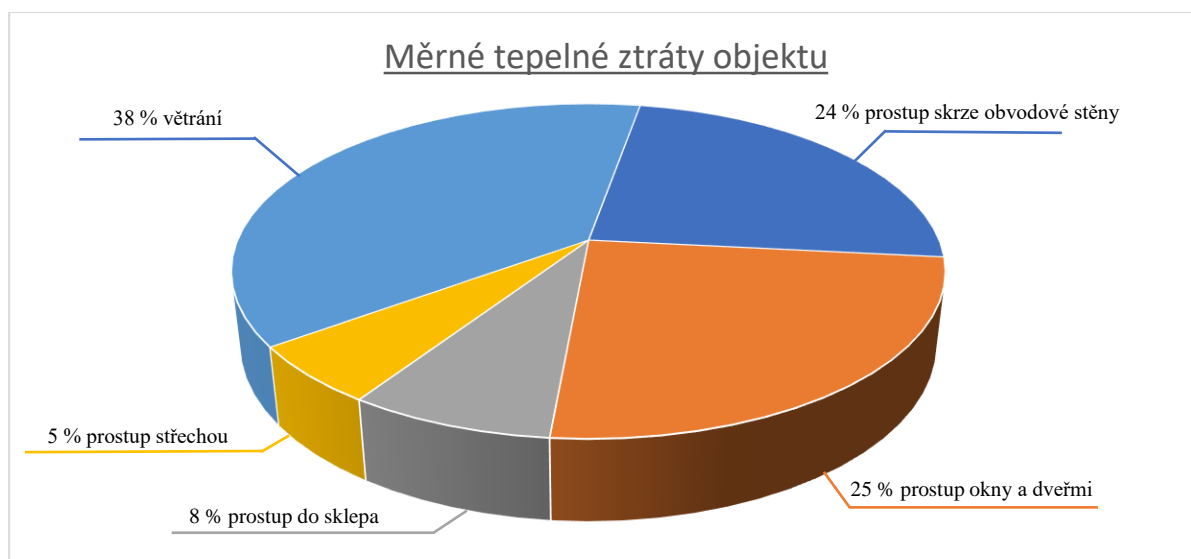
Výpočet nákladů na vytápění	
Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r}$	106,3 [GJ/rok]
	29527,78 [kWh/rok]
Roční náklady za plyn [Kč]	38268

5 Opatření ke snížení energetické náročnosti objektu

Pro snížení tepelných ztrát rodinného domu bude uvedeno několik koncepcí, které mají ve výsledku vliv na nižší roční náklady za plyn.

Tepelné ztráty uskutečněné větráním, které probíhá netěsnostmi v obvodovém plášti a okna lze snížit utěsněním spár (např. v okenním rámu). Co se týká ztráty výměnou vzduchu větráním z hygienického hlediska, ta jde snížit pomocí rekuperátoru vzduchu.

Tepelná ztráta probíhající prostupem skrze obvodové stěny u modelového domu lze snížit kontaktním vnějším zateplením (ETICS) pěnovým polystyrenem EPS nebo perimetrickým polystyrenem. Nezanedbatelné ztráty do nevytápěného sklepa se řeší nalepením desek tepelněizolačního materiálu na strop sklepa. Tepelný prostup skrze okna lze vyřešit výměnou oken s vyšším počtem skel a rámem s optimálními tepelněizolačními vlastnostmi. Stejně požadavky, jako pro okna, platí pro dveře a vrata.



Obrázek 31 - zastoupení měrné tepelné ztráty objektu

Z obrázku 31 je zřejmé, že největší poměrná ztráta tepla je větráním s 38 %, dále pak ztráta prostupem dveřmi a okny s 25 %, prostupem skrze obvodové stěny činí 24 %, ztráta do nevytápěného sklepa 8 % a tepelná ztráta střechou s nejmenším zastoupením činí 5 % z celkové měrné tepelné ztráty objektu ve stávajícím stavu.

V následujících kapitolách budou navrženy 4 koncepce pro modelový rodinný dům, které povedou ke snížení tepelných ztrát. Následně bude uvedena úspora na vytápění a zhodnocení návratnosti a ceny koncepce, která je pro investora rozhodující.

Návratnost je vypočítána jako *prostá doba návratnosti*, kdy je tato metoda nejjednodušší, ale zanedbává efekt inflace a fakt, že peníze lze vložit do jiných investičních příležitostí. Vypočítá se podle vztahu [57]:

$$T = \frac{IN}{CF} \quad [\text{roky}] \quad (25)$$

kde: T je doba návratnosti [rok]
 IN je investice do zateplení [Kč]
 CF jsou uspořené finance na vytápění za jeden rok (cash flow) [Kč/rok]

5.1 Koncepce 1

První zateplovací koncepce počítá s instalací vrstvy tepelněizolačního materiálu na strop sklepa. Jako zateplovací materiál jsou zvoleny minerální desky Ytong Multipor. Jedná se o izolování interiéru, proto je volen materiál, který je propustný pro vodní páru. Touto technologií se dá předejít vzniku plísní a s ní spojené komplikace.

Tato varianta zredukuje tepelnou ztrátu do nevytápěného suterénu z vytápěného přízemí, především z obývacího pokoje, jídelny, kuchyně. Pro obyvatele se zlepší tepelný komfort v oblasti chodidel.

Konkrétně jsou vybrány desky o tloušťce 125 mm, aby nová vrstva nebránila otvírání dveří.

Cena byla zjištěna z webové stránky společnosti Ytong a činí 1281 Kč/m² s DPH [58]. Stropní plocha sklepa činí 66,92 m². Jedno balení obsahuje desky s celkovou plochou 3,3 m², tudíž na strop suterénu je potřeba 21 balení. Ceny za maltu a omítky byly zjištěny z programu RTS stavitel.

Tabulka 29 – náklady na provedení koncepce 1

Ceny za materiál pro zateplení koncepcí 1		
Materiál	Cena za m ² [Kč/m ²]	Cena
Desky Ytong Multipor 125 mm	1281	88 770
Malta lepicí	281	18 800
Malta plnoplošná	130	8 700
Omítka vápenná	182	12 180
Práce	-	13 400
Σ		141 850

Tepelný výkon byl spočítán dle stejného postupu jako v kapitole 4 a jeho vypracování je uvedeno v příloze (viz Příloha 4). Výsledné hodnoty tepelného výkonu po zateplení první variantou jsou k nalezení v tabulce 30.

Tabulka 30 – výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 1

Označení místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Tepelný zátopový výkon $\phi_{RH,i}$ [W]	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i}$ [W]
0.1	495,516	197,9208	308,00	1001,437
0.2	-205,183	64,9842	115,68	-24,5188
0.3	872,776	261,562	407,04	1541,378
0.4	366,954	106,7192	166,08	639,7532
0.5	176,119	115,668	189,6	481,387
1.1	703,065	98,336	129,6	931,001
1.2	-68,861	118,524	156,8	206,463

1.3	110,661	255,115	84,8	450,576
1.4	51,459	57,757	19,2	128,416
1.5	912,945	379,896	424,8	1717,641
1.6	903,111	163,152	182,4	1248,663
1.7	191,811	439,494	163,84	795,145
1.8	-63,672	14,084	18,56	-31,028
1.9	855,647	345,184	276,96	1477,791
2.1	-55,188	138,992	213,12	296,924
2.2	454,609	163,98	225,6	844,189
2.3	510,807	185,13	211,2	907,137
2.4	770,156	270,57	341,28	1382,006
2.6	468,148	270,57	176,48	915,198
2.7	47,034	54,723	18,56	120,317
3.1	246,625	331,82	811,2	1389,645
Σ	7744,539	4034,181	4640,8	16419,52

V porovnáním s původním stavem činí snížení tepelného výkonu o 376,91 W.

Náklady na vytápění se vypočítají denostupňovou metodou, jejíž postup lze nalézt v předchozí kapitole.

Tabulka 31 – výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 1

Výpočet nákladů na vytápění	
Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r}$	103,9 [GJ/rok]
	28858,73 [kWh/rok]
Roční náklady za plyn [Kč]	37401

Spotřeba tepla se snížila na 103,9 GJ/rok, oproti 106,3 GJ/rok v původním stavu a náklady za plyn se snížily o 867 Kč.

5.2 Koncepce 2

Tohle opatření ke snížení energetické náročnosti spočívá ve výměně oken, dveří a vrat. Stará dřevěná okna s dvojitým zasklením budou vyměněna za dřevěná eurookna s trojitým zasklením. Vchodové dveře budou vyměněny za bezpečnostní dveře s lepšími tepelněizolačními vlastnostmi, obdobně jako garážová vrata.

Okna, dveře a vrata jsou vyrobena od lokálních výrobců na zakázku.

Cena za nová eurookna s trojitým zasklením se orientačně pohybuje kolem 5 500 Kč/m². Cena za m² oken byla zjištěna z programu RTS. Plocha pokrytá okny činí v celku 28,85 m². Tím pádem přibližná cena za nová okna činí 158 700 Kč, s připočtením ceny za montáž se dostáváme na cenu 170 000 Kč.

Garážová vrata od firmy Lomax lze pořídit přibližně za cenu 25 000 Kč.

Vstupní dveře s bezpečnostními prvky lze pořídit za 15 000 Kč a dveře ze sklepa do venkovního prostředí lze pořídit do 6 000 Kč.

Hodnoty U_k pro nové otvorové výplně jsou určeny z programu Protech TV – norma ČSN EN 12 831.

Výpočet tepelného výkonu je k nalezení v příloze (viz Příloha 5) společně s definovanými součiniteli prostupu tepla U_k pro nové otvorové výplně.

Tabulka 32 – ceny za nové otvorové výplně

Ceny za nové otvorové výplně	
Materiál	Cena [Kč]
Eurookna s trojitým sklem	170 000
Garážová vrata	25 000
Vstupní dveře	15 000
Dveře do sklepa	6 000
Σ	216 000

Tabulka 33 - výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 2

Označení místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} [W]$	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i} [W]$	Tepelný zátopový výkon $\phi_{RH,i} [W]$	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i} [W]$
0.1	397,488	210,725	308,00	916,213
0.2	-205,183	64,984	115,68	-24,519
0.3	667,884	278,555	407,04	1353,479
0.4	292,488	113,668	166,08	572,236
0.5	90,535	129,71	189,6	409,845
1.1	418,649	98,336	129,6	646,585
1.2	-45,068	118,524	156,8	230,256
1.3	217,418	255,115	84,8	557,333
1.4	75,628	57,757	19,2	152,585
1.5	940,302	379,896	424,8	1744,998
1.6	685,608	163,152	182,4	1031,16
1.7	265,353	439,494	163,84	868,687
1.8	-55,3	14,084	18,56	-22,656
1.9	589,03	345,184	276,96	1211,174
2.1	-103,348	138,992	213,12	248,764
2.2	397,848	163,98	225,6	787,428
2.3	354,585	185,13	211,2	750,915
2.4	608,619	270,57	341,28	1220,469
2.6	404,225	270,57	176,48	851,275
2.7	47,034	54,723	18,56	120,317
3.1	246,625	331,82	811,2	1389,645
Σ	6290,42	4084,969	4640,8	15016,19

Výsledný tepelný výkon se výměnou otvorových výplní sníží o 1780,24 W v porovnání s nezatepleným objektem.

Tabulka 34 - výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 2

Výpočet nákladů na vytápění	
Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r}$	95,01 GJ/rok
	26392,56 kWh/rok
Roční náklady za plyn [Kč]	34205

V porovnání s původním stavem se spotřeba energie snížila na 95,01 GJ/rok ze 106,3 GJ/rok. Roční úspora za plyn činí 4063 Kč.

5.3 Koncepce 3

Jako třetí variantu zateplení jsem pro modelový rodinný dům zvolil přídavnou izolaci na obvodovou vnější stěnu společně s izolací stěny sklepa k exteriéru.

Provedení výpočtu tepelných ztrát spolu s nadefinováním zateplených konstrukcí je k nalezení v příloze (viz Příloha 6).

Zateplení vnější stěny bude realizováno expandovaným polystyrenem s příměsí grafitu Styrotherm Plus 70 od značky Styrotrade o tloušťce 120 mm. Zateplovaná plocha činí 84,225 m², na kterou bude potřeba 43 balíků polystyrenu. Cena polystyrenu byla zjištěna z e-shopu Centrum zateplení. [59]

Pro zateplení stěny sklepa je zvolen perimetrický expandovaný polystyren kvůli riziku vztlínající vody. Izolace je Perimetr SD 150 o tloušťce 120 mm. Plocha izolované části činí 20,22 m² a bude potřeba 7 balíků perimetru. Cena desek perimetru je z e-shopu Levné stavebniny. [60]

Tabulka 35 – náklady na provedení koncepce 3

Ceny za materiál pro zateplení fasády		
Materiál	Cena za m ² [Kč/m ²]	Cena
Styrotherm Plus 70 120 mm	182	15 470
Malta lepicí	281	23 700
Malta plnoplošná	130	10 950
Omítka fasádní s perlíčkou	425	37 900
Ceny za materiál pro zateplení stěny sklepa		
Perimetr SD 150 120 mm	332	6 720
Malta lepicí	281	5 690
Malta plnoplošná	130	2 630
Perlínka	145	2 932
Σ		105 992

Tabulka 36 - výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 3

Označení místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Tepelný zátopový výkon $\phi_{RH,i}$ [W]	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i}$ [W]
0.1	291,579	210,725	308,00	810,304
0.2	-205,183	64,984	115,68	-24,519
0.3	352,016	278,555	407,04	1037,611
0.4	163,884	113,668	166,08	443,632
0.5	90,535	129,71	189,6	409,845
1.1	587,44	98,336	129,6	815,376
1.2	-45,068	118,524	156,8	230,256
1.3	217,412	255,115	84,8	557,327
1.4	75,628	57,757	19,2	152,585
1.5	1153,053	379,896	424,8	1957,749
1.6	827,31	163,152	182,4	1172,862
1.7	265,353	439,494	163,84	868,687
1.8	-55,3	14,084	18,56	-22,656
1.9	507,242	345,184	276,96	1129,386
2.1	-90,048	138,992	213,12	262,064
2.2	384,219	163,98	225,6	773,799
2.3	440,913	185,13	211,2	837,243
2.4	608,652	270,57	341,28	1220,502
2.6	388,944	270,57	176,48	835,994
2.7	47,034	54,723	18,56	120,317
3.1	246,625	331,82	811,2	1389,645
Σ	6252,24	4084,969	4640,8	14978,01

Při zateplení obvodových venkovních stěn se výsledný tepelný výkon zmenší o 1818,42 W.

Tabulka 37 - výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 3

Výpočet nákladů na vytápění	
Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r}$	94,77 GJ/rok
	26325 kWh/rok
Roční náklady za plyn [Kč]	34118

Roční spotřeba tepla se z původní hodnoty 106,3 GJ/rok snížila na 94,77 GJ/rok. Úspora za plyn činí 4150 Kč.

5.4 Koncepce 4

Tato varianta počítá s přidáním lokální rekuperační jednotky do obývacího pokoje, který je největší obytnou místností a shromažďuje se v něm největší množství lidí. Od rekuperátoru vzduchu se očekává snížení tepelné ztráty větráním v topné sezóně a ochlazováním místnosti v letních měsících. Zároveň je výhodou, že přiváděný vzduch z venkovního prostředí bude zbaven prachu a jiných škodlivých látek pro obyvatele. Výhodou je též předcházení vzniku plísní.

Byla vybrána jednotka REC Smart Hygrostat, která se nainstaluje do obvodové stěny obývacího pokoje. Cenová relace se pohybuje kolem 14 000 Kč spolu s montáží. Účinnost jednotky dosahuje hodnoty 75 %. Jednotka je schopna při maximálním výkonu vyměnit $53 \text{ m}^3/\text{h}$. Informace o produktu jsou zjištěny z e-shopu firmy SVP Solar. [61]

Tepelná ztráta větráním obývacího pokoje s rekuperační jednotkou se zjistí dle vzorce [62]:

$$\phi_V = \frac{\dot{V}_i}{3600} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{int} - \theta_p) \quad [W] \quad (26)$$

kde: θ_p je teplota vzduchu za výměníkem [°C] a je dána vztahem [62]:

$$\theta_p = \theta_e + \eta_{rec} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad [^\circ\text{C}] \quad (27)$$

kde: η_{rec} je účinnost rekuperační jednotky [–]

Výpočet teploty za výměníkem:

$$\theta_p = \theta_e + \eta_{rec} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = -13^\circ\text{C} + 0,75 \cdot [20 - (-13)]^\circ\text{C} = 11,75^\circ\text{C}$$

Výpočet tepelné ztráty větráním pro obývací pokoj:

$$\phi_{V,i} = \frac{\dot{V}_i}{3600} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{int} - \theta_p) = \frac{33,86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1010 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (20 - 11,75)^\circ\text{C} = 94,05 \text{ W}$$

Tabulka 38 – porovnání tepelné ztráty větráním obývacího pokoje

Porovnání ztráty větráním po instalaci rekuperační jednotky		
Bez rekuperační jednotky	$\phi_{V,i} [W]$	379,89
S rekuperační jednotkou REC Smart Hygrostat	$\phi_{V,i} [W]$	94,05

Tepelná ztráta větráním se po instalaci rekuperační jednotky zmenšila o 285,84 W.

Tabulka 39 - výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 4

Označení místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Tepelný zátopový výkon $\phi_{RH,i}$ [W]	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i}$ [W]
0.1	411,579	210,725	308,00	930,304
0.2	-205,183	64,984	115,68	-24,519
0.3	689,041	278,555	407,04	1374,636
0.4	292,725	113,668	166,08	572,473
0.5	90,535	129,71	189,6	409,845
1.1	761,544	98,336	129,6	989,48
1.2	-45,068	118,524	156,8	230,256
1.3	217,412	255,115	84,8	557,327
1.4	75,628	57,757	19,2	152,585
1.5	1289,574	94,05	424,8	1808,424
1.6	984,984	163,152	182,4	1330,536
1.7	265,353	439,494	163,84	868,687
1.8	-55,3	14,084	18,56	-22,656
1.9	855,647	345,184	276,96	1477,791
2.1	-55,188	138,992	213,12	296,924
2.2	454,609	163,98	225,6	844,189
2.3	510,807	185,13	211,2	907,137
2.4	770,156	270,57	341,28	1382,006
2.6	468,148	270,57	176,48	915,198
2.7	47,034	54,723	18,56	120,317
3.1	246,625	331,82	811,2	1389,645
Σ	8070,662	3799,123	4640,8	16510,59

Při instalaci rekuperační jednotky se celkový tepelný výkon objektu sníží o 285,84 W oproti původnímu stavu.

Tabulka 40 - výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 4

Výpočet nákladů na vytápění	
Roční spotřeba tepla $Q_{vYT,r}$	104,5 GJ/rok
	29019 kWh/rok
Roční náklady za plyn [Kč]	37609

Z původní hodnoty se roční spotřeba tepla snížila na hodnotu 104,5 GJ/rok a úspora za vytápění činí 659 Kč.

5.5 Kombinace zateplovacích koncepcí

V této variantě dojde ke zkombinování předchozích koncepcí, které byly uvedeny v předchozím textu. Mezi tyto koncepce se řadilo zateplení stropu sklepa, výměna všech otvorových výplní v obvodové konstrukci, izolace vnějších stěn a instalace lokální rekuperační jednotky do obývacího pokoje.

Výpočet tepelných ztrát pro kombinaci zateplení jsou k nalezení v příloze (viz Příloha 7).

Náklady, které je třeba vynaložit se rovnají součtu za všechny předešlé koncepce. Finální částka za provedení se šplhá na 477 842 Kč.

Tabulka 41 - náklady na provedení kombinace zateplení

Náklady za provedení kombinace zateplení	
Koncepce	Cena [Kč]
Koncepce 1	141 850
Koncepce 2	216 000
Koncepce 3	105 992
Koncepce 4	14 000
Σ	477 842

Tabulka 42- výsledný tepelný výkon RD po kombinaci zateplovacích variant

Označení místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Tepelný zátopový výkon $\phi_{RH,i}$ [W]	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i}$ [W]
0.1	361,13	197,9208	308,00	867,0508
0.2	-205,183	64,9842	115,68	-24,5188
0.3	514,573	261,562	407,04	1183,175
0.4	237,846	106,7192	166,08	510,6452
0.5	176,119	115,668	189,6	481,387
1.1	186,038	98,336	129,6	413,974
1.2	-68,861	118,524	156,8	206,463
1.3	110,661	255,115	84,8	450,576
1.4	51,459	57,757	19,2	128,416
1.5	427,176	94,05	424,8	946,026
1.6	446,062	163,152	182,4	791,614
1.7	191,811	439,494	163,84	795,145
1.8	-63,672	14,084	18,56	-31,028
1.9	240,626	345,184	276,96	862,77
2.1	-138,201	138,992	213,12	213,911
2.2	327,459	163,98	225,6	717,039
2.3	284,719	185,13	211,2	681,049
2.4	447,351	270,57	341,28	1059,201
2.6	325,304	270,57	176,48	772,354
2.7	47,034	54,723	18,56	120,317
3.1	246,625	331,82	811,2	1389,645
Σ	4146,076	3748,335	4640,8	12535,21

V porovnání s původním stavem, se celkový tepelný výkon objektu sníží o 4261,22 W.

Tabulka 43 - výpočet nákladů na vytápění RD, kombinace koncepcí

Výpočet nákladů na vytápění	
Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r}$	79,3 GJ/rok
	22031 kWh/rok
Roční náklady za plyn [Kč]	28553

Z původní hodnoty se roční spotřeba tepla snížila na 79,3 GJ/rok a úspora za vytápění činí 9715 Kč.

6 Shrnutí výsledků opatření na snížení tepelných ztrát

Pro snížení tepelných ztrát modelového rodinného domu byly navrženy čtyři varianty, které budou v této kapitole shrnuty. Nejdříve je potřeba si připomenout, že nezateplený objekt v původním stavu měl tepelný výkon na pokrytí tepelných ztrát hodnotu 16796,43 W. S tím se pojila roční spotřeba tepla, která dosahovala hodnoty 106,3 GJ/rok a náklady za plyn činily 38268 Kč.

První koncepce zateplení spočívá v zateplení stropu sklepa minerálními deskami Ytong Multipor. Tímto opatřením dojde ke snížení tepelné ztráty prostupem do nevytápěného sklepa z vytápěných místností v přízemí. Stanovený tepelný výkon představoval hodnotu 16419,52 W. Roční spotřeba tepla měla hodnotu 103,9 GJ/rok. Cena za plyn na vytápění je 37401 Kč. Úspora za palivo je proti původnímu stavu 867 Kč. Náklady za izolační materiál, doplňující materiál a práci v této koncepci činí 141850 Kč.

Druhá koncepce spočívala ve výměně otvorových výplní v obvodových konstrukcích. Původní dřevěná okna s dvojitým zasklením byla nahrazena eurookny s trojitým sklem. Vyměněna byla také garážová vrata a dveře do vnějšího prostředí. Tepelná ztráta se snížila na 15016,2 W, roční spotřeba tepla klesla na hodnotu 94,01 GJ/rok a platba za plyn činila 34205 Kč. Ušetřené finance za plyn jsou 4063 Kč. Celková cena za koncepci 2 činí 216 000 Kč.

Třetí koncepce uvažuje přidání izolačního materiálu na obvodové zdivo. Vnější obvodová stěna byla zateplena expandovaným polystyrenem s příměsí grafitu Styrotherm Plus 70 od značky Styrotrade o tloušťce 120 mm. Dále byla zateplena stěna sklepa, která je vystavena vnějšímu prostředí. Ta byla zateplena perimetrickým polystyrenem Perimetr SD 150 o tloušťce vrstvy 120 mm. Tepelná ztráta po realizaci se snížila na 14978,01 W. Roční spotřeba tepla klesne na 94,8 GJ/rok, náklady na vytápění klesnou na 34118 Kč, což činí úsporu proti původnímu stavu 4150 Kč. Cena za provedení tohoto opatření se vyšplhá na 105 992 Kč.

Čtvrtá koncepce počítá s instalací lokální rekuperační jednotky do obývacího pokoje. Předchozí varianty zateplení měly za úkol snížení tepelné ztráty prostupem, rekuperační jednotka snižuje tepelnou ztrátu větráním. Umístění do obývacího pokoje bylo zvoleno kvůli vhodné orientaci k vnějšímu prostředí a z důvodu vysoké koncentrace lidí. Tepelná ztráta klesla na hodnotu 16510,59 W. Roční spotřeba tepla je 104,5 GJ/rok a náklady za plyn jsou 37609 Kč. Úspora za palivo činí 659 Kč. Pro pořízení této varianty je nutné investovat přibližně 14 000 Kč.

Kombinace koncepcí uvažuje sloučení všech předcházejících návrhů zateplení. Tepelná ztráta se realizací snížila na 12535,21 W, roční spotřeba tepla klesne na 79,3 GJ/rok náklady za vytápění dosáhnou 28553 Kč. Uspořené finance za plyn dosahují výše 9715 Kč. Pořizovací cena kombinace všech variant dosahuje 477 842 Kč.

V následující tabulce bude znázorněno srovnání jednotlivých variant zateplení spolu s jejich náklady a návratností investice.

Tabulka 44 – srovnání jednotlivých variant pro snížení tepelných ztrát

Porovnání variant zateplení							
Varianta zateplení	Tepelný výkon $\phi_{HL} [kW]$	Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r} [GJ/rok]$	Náklady na vytápění [Kč]	Náklady na provedení koncepce [Kč]	Procentuální snížení roční spotřeby tepla $\Delta Q_{VYT,r} [\%]$	Úspora za vytápění [Kč]	Návratnost investice [roky]
Původní stav	16,8	106,3	38268	-	-	-	-
Koncepce 1	16,4	103,9	37401	141 850	2,25	867	164
Koncepce 2	15,02	95,01	34205	216 000	10,62	4063	53
Koncepce 3	14,9	94,8	34118	105 992	10,81	4150	26
Koncepce 4	16,5	104,5	37609	14 000	1,69	659	21
Kombinace	12,5	79,3	28553	477 842	25,39	9715	49

6.1 Využití dotačního programu NZÚ

Lze si všimnout, že návratnost jednotlivých investic se nedostává pod hranici 50 let, která je velmi vysoká. V České republice lze zažádat o dotaci na rekonstrukci domu, která se nazývá Nová zelená úsporám a měla by motivovat vlastníky objektů do snižování tepelných ztrát.

Při snížení roční spotřeby tepla o více než 20 % spadá objekt do kategorie A.0, kdy jde o zateplení rodinného domu. O dotaci lze zažádat v případě kombinace všech navrhovaných koncepcí. [63]

Tabulka 45 – výše podpory na různé typy konstrukcí [63]

Typ konstrukce	Dotace A.0 a A.1 [Kč/m ²]
Obvodová stěna	500
Střecha	500
Výplně otvorů	2100
Podlaha terénu	700
Ostatní konstrukce, stropy	330

Po aplikaci na modelový dům se cena za provedení návrhů zateplení změní, spolu s návratností investice.

Vyčíslení dotací za jednotlivé konstrukce, které byly zatepleny nebo vyměněny jsou k nalezení v následující tabulce.

Tabulka 46 – obdržené finance z NZÚ

Typ konstrukce	Dotace [Kč]
Obvodová stěna	52223
Výplně otvorů	60585
Ostatní konstrukce, stropy	22084
Celková dotace	134892

Náklady na provedení kombinace zateplení se po obdržení dotace sníží na 342 950 Kč.

Tabulka 47 - srovnání jednotlivých variant pro snížení tepelných ztrát po obdržení dotace NZÚ

Porovnání variant zateplení po obdržení dotace NZÚ							
Varianta zateplení	Tepelný výkon ϕ_{HL} [kW]	Roční spotřeba tepla $Q_{VYT,r}$ [GJ/rok]	Náklady na vytápění [Kč]	Náklady na provedení koncepce [Kč]	Procentuální snížení roční spotřeby tepla $\Delta Q_{VYT,r}$ [%]	Úspora za vytápění [Kč]	Návratnost investice [roky]
Původní stav	16,8	106,3	38268	-	-	-	-
Koncepce 1	16,4	103,9	37401	141 850	2,25	867	164
Koncepce 2	15,02	95,01	34205	216 000	10,62	4063	53
Koncepce 3	14,9	94,8	34118	105 992	10,81	4150	26
Koncepce 4	16,5	104,5	37609	14 000	1,69	659	21
Kombinace	12,5	79,3	28553	342 950	25,39	9715	35

Po zvážení výsledků po získání dotace z programu NZÚ se pořizovací náklady na realizaci kombinace všech navrhovaných druhů zateplení snížily na 342 950 Kč. Návratnost těchto investic se snížila z 49 let na 35 let.

Je tedy na investorovi, pro kterou variantu se rozhodne. Provedení opatření 1 je kvůli příliš dlouhé návratnosti nevýhodné.

Dlouhá doba návratnosti je způsobena vysokou pořizovací cenou zateplení stropu sklepa minerálními deskami. Pro investora by bylo výhodnější zateplit sklep levnější variantou izolace nebo ji neprovádět vůbec. Z hlediska návratnosti, se nejvýhodněji jeví koncepce 4, ale z hlediska tepelné ochrany celého domu, se lépe jeví realizace zateplení obvodových stěn s dobou návratnosti 26 let.

7 Závěr

Předmětem této bakalářské práce bylo uvést způsoby opatření na eliminaci tepelných ztrát modelového domu a informovat čtenáře o možnostech použití pasivních i aktivních prvků, které eliminaci napomáhají. V bakalářské práci byl proveden výpočet tepelných ztrát objektu spolu s roční spotřebou tepla na vytápění a náklady na jeho vytápění. Po zjištění tepelných ztrát byly navrženy varianty zateplení, které snížily energetickou náročnost rodinného domu. Tyto varianty byly nakonec srovnány mezi sebou a ekonomicky vyhodnoceny.

V úvodní části práce proběhlo seznámení s modelovým rodinným domem. Jednalo se o dům ve městě Kyjov na Hodonínsku. Ve druhé kapitole jsou vyobrazeny půdorysy jednotlivých podlaží spolu se zběžnou materiálovou skladbou konstrukcí a popisem jednotlivých místností. Dům je podsklepen a je součástí řadové výstavby. Dále jsou v kapitole k nalezení snímky z termovizní kamery, která byla použita k vizualizaci míst, kde dochází ke zvýšenému úniku tepla z interiéru.

V následující kapitole lze vyčíst o způsobech zateplení, mezi které patří zateplování vnitřní a vnější. Byly uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých typů provedení zateplení. Po zvážení všech výhod a nevýhod bude pro modelový dům majoritním způsobem zateplení vnější provedení. Následně bylo vybráno několik možných materiálů, které poskytuje trh, pro provedení izolace objektu. U materiálů byly popsány jejich tepelné izolační vlastnosti spolu s reakcí na oheň a jejich objemové hmotnosti.

V podkapitole, která se týká zateplování střechy bylo rozebráno několik způsobů izolování. Toto opatření na snížení tepelné ztráty se zvoleného modelového objektu netýká, protože v předchozích letech prošel podkroevní a mezikroevní izolací.

Další podkapitola se zabírala izolováním podlah a stropů nevytápěných místností. V případě modelového rodinného domu bylo vybráno právě zateplení stropu nevytápěného sklepa. Pro zateplení byly vybrány desky z minerálního materiálu Ytong Multipor, zateplení tímto materiálem bylo vybráno z důvodu požární ochrany díky nehořlavosti minerálních desek.

V bakalářské práci figuruje výměna původních dřevěných oken s dvojitým sklem za nová eurookna s trojitým zasklením. V rešeršní části byly vybrány a popsány vlastnosti jednotlivých typů oken, které by mohly být pro koncepci použity. Mezi další otvorové výplně, které je potřeba vyměnit, patří také vstupní dveře a garážová vrata.

V další podkapitole byly popsány rekuperační jednotky vzduchu, které využívají teplo z odpadního vzduchu, který odchází z místnosti, vzduchu čerstvému, který je přisáván z exteriéru. Tohle předání odpadního tepla snižuje tepelnou ztrátu větráním, a navíc s sebou nese další benefity, mezi které patří čistší přiváděný vzduch a předcházení vzniku plísní v místnostech, kde došlo k utěsnění spár výměnou oken za nová. Pro modelový dům je vhodné zvolit lokální rekuperační jednotku, která se instaluje do jednotlivých místností nebo do skupiny místností, které chceme větrat. Výhoda lokálních rekuperačních jednotek spočívá v absenci vzduchotechnických rozvodů, které jsou potřeba při instalaci klasických centrálních rekuperátorů.

V původním stavu byl návrhový tepelný výkon domu roven $16,8 \text{ kW}$ s roční spotřebou tepla $106,3 \text{ GJ/rok}$ a náklady na vytápění činily 38268 Kč.

Pro zateplovací koncepcí byl využit stejný postup výpočtu tepelných ztrát jako při výpočtu pro nezateplený objekt.

První koncepce zateplení spočívala v izolaci stropu sklepa minerálními deskami Ytong Multipor. Tímto opatřením dojde ke snížení tepelné ztráty prostupem do nevytápěného sklepa z vytápěných místností v přízemí. Stanovený tepelný výkon po zateplení představoval hodnotu 16,4 kW. Roční spotřeba tepla měla hodnotu 103,9 GJ/rok. Cena za plyn na vytápění je 37401 Kč. Úspora za palivo je proti původnímu stavu 867 Kč. Náklady za izolační materiál, doplňující materiál a práci v této koncepci činí 141850 Kč. Doba návratnosti této koncepce je 164 let.

Ve druhé zateplovací variantě došlo k výměně otvorových výplní v obvodových konstrukcích. Původní dřevěná okna s dvojitým zasklením byla nahrazena eurookny s trojitým sklem. Vyměněna byla také garážová vrata a dveře do vnějšího prostředí. Tepelná ztráta se snížila na 15,02 kW, roční spotřeba tepla klesla na hodnotu 95,01 GJ/rok a platba za plyn činila 34205 Kč. Ušetřené finance za plyn jsou 4063 Kč. Celková cena za koncepci 2 činí 216 000 Kč. Návratnost této varianty je 53 let.

Třetí koncepce uvažuje přidání izolačního materiálu na obvodové zdivo. Vnější obvodová stěna byla zateplena expandovaným polystyrenem s příměsí grafitu, který má lepší tepelněizolační vlastnosti než klasický EPS. Byl zvolen polystyren Styrotherm Plus 70 od značky Styrotrade o tloušťce 120 mm. Dále byla zateplena stěna sklepa, která je vystavena vnějšímu prostředí. Ta byla zateplena perimetrickým polystyrenem Perimetr SD 150 o tloušťce vrstvy 120 mm. Tepelná ztráta po realizaci se sníží na 14,9 kW. Roční spotřeba tepla klesne na 94,8 GJ/rok, náklady na vytápění klesnou na 34118 Kč, což činí úsporu proti původnímu stavu 4150 Kč. Cena za provedení tohoto opatření je 105 992 Kč. Návratnost třetí varianty činí 26 let.

Čtvrtá koncepce počítá s instalací lokální rekuperační jednotky REC Smart Hygrostat do obývacího pokoje. Předchozí varianty zateplení měly za úkol snížení tepelné ztráty prostupem, rekuperační jednotka snižuje tepelnou ztrátu větráním. Umístění do obývacího pokoje bylo zvoleno kvůli vhodné orientaci k vnějšímu prostředí a z důvodu vysoké koncentrace lidí. Tepelná ztráta klesla na hodnotu 16,5 kW. Roční spotřeba tepla je 104,5 GJ/rok a náklady za plyn jsou 37609 Kč. Úspora za palivo činí 659 Kč. Pro pořízení této varianty je nutné investovat 14 000 Kč. Doba návratnosti této varianty činí 21 let.

Kombinací všech předešlých variant zateplení lze dosáhnout na příspěvek z dotačního programu Nová zelená úsporám. Pro rekonstrukci rodinných domů se vyplácí při snížení procentuální roční spotřeby tepla o více než 20 %.

Tepelná ztráta se realizací sníží na 12,5 kW, roční spotřeba tepla klesne na 79,3 GJ/rok, náklady za vytápění dosáhnou 28553 Kč. Uspořené finance za plyn dosahují výše 9715 Kč. Pořizovací cena kombinace všech variant po obdržení dotace činí 342 950 Kč. Doba návratnosti je 35 let.

Na základě výsledků lze říci, že pro investora je nejvýhodnější z hlediska návratnosti a tepelné ochrany objektu zvolit koncepci 3, i když nižší doby návratnosti dosahuje koncepce 4.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] ŠUBRT, Roman. *Zateplování*. 1. vydání. Chleborádova 22, 619 00 Brno: ERA group, spol s r.o., 2008. ISBN 978-80-7366-138-0.
- [2] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [3] Posuzování tepelně izolačních vlastností teplovodního potrubí I. In: *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2016 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/14301-posuzovani-tepelne-izolacnich-vlastnosti-teplovodniho-potrubi>
- [4] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [5] ČSN 73 0540-1: *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. 1. vydání. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] POŽÁRNÍ ODOLNOST TEPELNÝCH IZOLACÍ – DLE PŮVODNÍ NORMY ČSN. *Www.izolace-info.cz* [online]. Praha: Digimadl.com, 2011 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/aktuality/6454-pozarni-odolnost-tepelnych-izolaci-dle-puvodni-normy-csn-a.html#.XGbvDNKiUk>
- [7] PERLÍK, Martin. Vnitřní zateplení obvodových stěn. *Www.perlikprojekce.cz* [online]. Praha: www.karban.eu, 2014 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.perlikprojekce.cz/2014/12/vnitрни-zatepleni-obvodovych-sten/>
- [8] ŠÁLA, Jiří. O vnitřním zateplení. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2001 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/540-o-vnitrnim-zatepleni>
- [9] Vnitřní zateplení budov, které z různých důvodů nelze zateplit tradiční metodou zvenku. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2015 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/12446-vnitрни-zatepleni-budov-ktere-z-ruznych-duvodu-nelze-zateplit-tradicni-metodou-zvenku>
- [10] Tepelněizolační desky Multipor: Řešení pro vnitřní zateplení budov. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2014 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/11048-reseni-pro-vnitрни-zatepleni-budov-multipor-tepelneizolacni-mineralni-desky-id>
- [11] MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2013. ISBN 978-80-247-4559-6.
- [12] Vnější kontaktní zateplovací systém. In: *Www.zatepleni-fasad.eu* [online]. Olomouc: Zofi fasády s.r.o., 2011 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/vnejsi-kontaktни-zateplovaci-system/>
- [13] Kdy použít kontaktní a kdy odvětrávanou fasádu?. *Www.living.cz* [online]. Praha: Magazín Living.cz s.r.o., 2015 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.living.cz/kdy-pouzit-kontaktни-a-kdy-odvetravanou-fasadu/>
- [14] 10 nejčastějších otázek a odpovědí na téma fasádní obklady NOVABRIK. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2016 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/14609-10-nejcastejsich-otazek-a-odpovedi-na-tema-fasadni-obklady-novabrik>

- [15] Polystyren EPS a extrudovaný polystyren XPS – srovnání. *Http://www.tepelna-izolace.cz* [online]. Dobříš: CJ izolace, s.r.o, 2013 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/polystyren-eps-a-extrudovany-polystyren-xps-srovnani.html>
- [16] Polystyrenové izolace. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/297-polystyrenove-izolace>
- [17] TYPY TEPELNÝCH IZOLACÍ - 1. DÍL - EXPANDOVANÝ PĚNOVÝ POLYSTYREN - EPS. In: *Www.izolace-info.cz* [online]. Praha: Digimadl.com, 2018 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/aktuality/21645-typy-tepelnych-izolaci-1-dil-expandovany-penov-y-polystyren-eps-a.html#.XGk7lehKiM8>
- [18] PĚNOVÝ POLYSTYRÉN. In: *Http://www.stavebninysova.cz* [online]. Násedlovice: Stavebniny Dagmar Sovová, 2014 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.stavebninysova.cz/clanky/penov-y-polystyren>
- [19] Styrotrade Perimetr 200. In: *Www.stavebniny-janik.cz* [online]. Ostrava: STAVEBNINY JANÍK, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.stavebniny-janik.cz/styrotrade-perimetr-200>
- [20] Extrudovaný polystyrén XPS. In: *Http://eshop.svota.cz* [online]. Příbor: Stavebniny SVOTA s.r.o., 2013 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: http://eshop.svota.cz/Extrudovany-polystyren-XPS-d453_203686.htm
- [21] Výroba kamenné vlny ROCKWOOL. *Www.rockwool.cz* [online]. Bohumín: ROCKWOOL, a.s., 2017 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.rockwool.cz/vyhody-kamenne-vlny/jak-se-vyrabi-kamenna-vlna/>
- [22] Minerální izolace. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- [23] Skelná vata mezi krokve DCD Ideal WIEGLA KF 2 100 mm. In: *Www.stavebninyokolo.cz* [online]. Brno: stavebninyokolo.cz, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.stavebninyokolo.cz/produkt/skeln-a-vata-mez-i-krokve-wiegla-kf-2-100-mm-11956/>
- [24] Tepelné izolace – přehled, materiály, druhy, způsoby použití. *Www.stavebnictvi3000.cz* [online]. Hradec Králové: VEGA spol. s r.o., 2009 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po>
- [25] Pěnové sklo. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/300-penov-e-sklo>
- [26] Desky z pěnového skla. In: *Http://www.a-glass.cz* [online]. Staré Město: a-glass.cz, 2015 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <http://www.a-glass.cz/desky-z-penov-eho-skla/>
- [27] Co je to PIR?. *Http://www.puren.cz* [online]. Jihlava: Jitrans Trade s.r.o., 2010 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <http://www.puren.cz/cz/co-je-to-pir>
- [28] Izolace PUR, PIR a fenolická pěna. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- [29] Izolace PUR, PIR a fenolická pěna. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- [30] Izolace z obnovitelných surovin (dřevo, celulóza, konopí, ovčí vlna, sláma). *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/301-izolace-z-obnovitelnych-surovin-drevo-celuloza-konopi-ovci-vlna-slama>

- [31] Dřevovláknitá deska MDF surová. In: *Www.sortim.cz* [online]. Praha: SORTIM Praha, s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.sortim.cz/products/793-drevovlaknita-deska-mdf-surova/>
- [32] Konopná izolace. In: *Http://www.ecolife-trading.eu* [online]. Praha: Ecolife Trading, 2010 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <http://www.ecolife-trading.eu/produkty/konopna-izolace>
- [33] Když tepelnou izolaci, tak ISOCELL. In: *Www.nazeleno.cz/* [online]. Praha: Narrative Media s.r.o., 2018 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/kdyz-tepelnou-izolaci-tak-isocell.aspx>
- [34] OPTIM-R Vakuová izolace. In: *Www.kingspan.com* [online]. Praha: Kingspan Group, 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolace/izolacni-desky/optim-r-vakuova-izolace>
- [35] OPTIM-R Vakuová izolace. *Www.kingspan.com* [online]. Praha: Kingspan Group, 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolace/izolacni-desky/optim-r-vakuova-izolace>
- [36] VACEK, Petr. Jak se vyhnout chybám v zateplení šikmé střechy. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2015 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/13185-jak-se-vyhnut-chybam-v-zatepleni-sikme-strechy>
- [37] Zateplení mezi krokvy (Mezikrokevní izolace). *Www.vseostrese.cz* [online]. Praha: Vše o střeše, 2016 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.vseostrese.cz/zatepleni-mezi-krokvemi-mezikrokevni-izolace/t1187>
- [38] Jak zateplit střechu mezi a pod krokvy. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2011 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7647-jak-zateplit-strechu-mezi-a-pod-krokvemi>
- [39] Skladba střechy nad obytným podkrovím. In: *Homebydleni.cz* [online]. Praha: JAGA MEDIA, s.r.o., 2014 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/rekonstrukce-domu/skladba-strechy-nad-obytnym-podkrovim/>
- [40] PERLÍK, Martin. Kdy se vyplatí nadkrokevní tepelná izolace?. *Www.perlikprojekce.cz* [online]. Praha: www.karban.eu, 2017 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.perlikprojekce.cz/2017/03/se-vyplati-nadkrokevni-tepelna-izolace/>
- [41] Zateplení šikmé střechy nad krokvy s izolací z nehořlavé kamenné vlny - SYSTÉM TOPROCK. In: *Www.ceskestavby.cz* [online]. České Budějovice: ceskestavby.cz, 2018 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/zatepleni-sikme-strechy-nad-krokvemi-s-izolacemi-z-nehorlave-kamenne-vlny-system-toprock-26437.html>
- [42] Zateplení půdy snadno a rychle. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2013 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/9775-zatepleni-pudy-snadno-a-rychle>
- [43] Využívejte svou půdu i po zateplení. In: *Homebydleni.cz* [online]. Praha: JAGA MEDIA, s.r.o., 2015 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/stavebni-materialy/vyuzivejte-svou-pudu-i-po-zatepleni/>
- [44] PONCAROVÁ, Jana. Zateplení podlahy: Jak na to?. *Www.nazeleno.cz* [online]. Praha: Narrative Media s.r.o., 2012 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/zatepleni-podlahy-jak-na-to.aspx>
- [45] ŠUBRT, Roman, Zdeněk PETRÝL a Martin ŠKOPEK. *Okno: Klíčová součást staveb*. 1. vydání. České Budějovice: Energy Consulting Service, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-254-8573-6.

- [46] PLASTOVÁ OKNA SE SKRYTÝM OKENNÍM KŘÍDLEM. In: [Http://www.dvere-okna-plastova-hlinikova.cz](http://www.dvere-okna-plastova-hlinikova.cz) [online]. Brno: OKNOSERVIS S.R.O., 2019 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <http://www.dvere-okna-plastova-hlinikova.cz/produkty/plastova-okna/artline-82-md>
- [47] Eurookna IV 92 - dokonalá dřevěná okna. In: [Www.prazak.cz](http://www.prazak.cz) [online]. Milotice u Kyjova: PRAŽÁK s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.prazak.cz/rs/eurookna-iv-92/>
- [48] Futura exclusive. In: [Www.vekra.cz](http://www.vekra.cz) [online]. Lázně Toušeň: Window Holding a.s., 2015 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/okna-futura-exclusive/>
- [49] VENTILÁTORY, VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ. In: [Http://www.klimarapid.cz](http://www.klimarapid.cz) [online]. Praha: Klima Rapid s.r.o., 2015 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://www.klimarapid.cz/vzduchotechnika>
- [50] Větrací jednotky – rekuperace tepla, optimalizace vlhkosti Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (II). [Vetrani.tzb-info.cz](http://vetrani.tzb-info.cz) [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2013 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>
- [51] STRAŇÁK, Vít. Chcete vytápět hodně levně? Pravda a mýty o rekuperaci i jejích cenách Zdroj: https://www.idnes.cz/bydleni/energie/vytapeni-a-chlazení-pomoci-rekuperace.A150213_110209_uspory-energie_rez. [Www.idnes.cz](http://www.idnes.cz) [online]. Praha: MAFRA, a. s., 2015 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/bydleni/energie/vytapeni-a-chlazení-pomoci-rekuperace.A150213_110209_uspory-energie_rez
- [52] Jak funguje rekuperace vzduchu?. [Www.eon.cz](http://www.eon.cz) [online]. České Budějovice: E.ON Česká republika, s.r.o., 2019 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/rekuperace-vzduchu>
- [53] Rekuperace tepla ze vzduchu. [Http://www.gtx-rekuperace.cz](http://www.gtx-rekuperace.cz) [online]. Ústí na Labem: GTX rekuperace s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://www.gtx-rekuperace.cz/index.html>
- [54] ČSN EN 12831 - 1: Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění prostor. 1. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [55] ČSN 73 0540-3: Návrhové hodnoty veličin. 1. vydání. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [56] BROŽ, Karel. Vytápění. 2. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-02536-5.
- [57] Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II). [Stavba.tzb-info.cz](http://stavba.tzb-info.cz) [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2005 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [58] Doporučené ceny tepelněizolačních stěn. [Www.ytong.cz](http://www.ytong.cz) [online]. Praha: Xella Group, 2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cenik-ytong-tepelneizolacni-desky.php>
- [59] Šedý fasádní polystyren Styrotherm Plus 70. [Www.centrum-zatepleni.cz](http://www.centrum-zatepleni.cz) [online]. Všechnovice: CENTRUM-ZATEPLNÍ s.r.o., 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.centrum-zatepleni.cz/polystyren/sedy-polystyren/sedy-fasadni-polystyren-styrotherm-plus-70/>
- [60] Styrotrade Perimeter. [Www.levnestavebniny.cz](http://www.levnestavebniny.cz) [online]. Praha: D.S.M. Praha s.r.o., 2019 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: https://www.levnestavebniny.cz/styrotrade-perimeter-3087/?vid=1538&utm_source=google&utm_medium=search&utm_campaign=nakupy&gclid=CjwKC-Ajwza_mBRBTEiwASDWVvgCdmrSJmKCU5awQ-51PhTuh5pH1NJA_Wyu-QzVJuPyRD29A9mztBRoCjnQQAvD_BwE

- [61] Rekuperace REC Smart Hygrostat, průměr napojení 100mm. *Www.solar-eshop.cz* [online]. Praha: SVP Solar s.r.o., 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/rekuperace-rec-smart-standard-prumer-napojeni-100mm-1/#6239>
- [62] Tepelná ztráta větráním a zpětné získávání tepla. *Vetrani.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2006 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/2988-tepelna-ztrata-vetranim-a-zpetne-ziskavani-tepla>
- [63] Výše dotace. *Http://www.poradce-zelenausporam.cz* [online]. Ostrava: poradce-zelenausporam.cz, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.poradce-zelenausporam.cz/nova-zelena-usporam/oblast-podpory-vyse-dotace-rd>
- [64] Vnitřní zateplení budov, které z různých důvodů nelze zateplit tradiční metodou zvenku. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2015 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/12446-vnitрни-zatepleni-budov-ktere-z-ruznych-duvodu-nelze-zateplit-tradicni-metodou-zvenku>
- [65] POPELKOVÁ, Marie. Kamenná vata. In: *Bydleni.instory.cz* [online]. Praha: inStory.cz, 2016 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://bydleni.instory.cz/336-kamenna-vata.html>
- [66] Minerální izolace. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>

9 Seznam použitých symbolů

Symbol	Rozměr	Veličina
A_g	m^2	Plocha podlahy
A_i	m^2	Plocha místnosti
A_k	m^2	Plocha konstrukce
B'	m	Charakteristické číslo
b_u	—	Součinitel redukce teploty
CF	$Kč/rok$	Uspořené finance za vytápění
c_p	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	Měrná tepelná kapacita
d	m	Tloušťka vrstvy
d	dn	Počet dní otopného období
D	$K \cdot den$	Počet denostupňů
e_i	—	Stínící součinitel
e_k	—	Korekční součinitel zahrnující klimatické podmínky
f_{g1}	—	Opravný součinitel uvažující roční změnu venkovní teploty
f_{g2}	—	Opravný součinitel uvažující rozdíl průměrné teploty a venkovní výpočtové teploty
f_{ij}	—	Součinitel snížení teploty zahrnující rozdíl mezi teplotou přilehlého prostoru a venkovní teploty
f_{RH}	W/m^2	Korekční součinitel závislý na době zátoku
$grad\theta$	K/m	Gradient teploty
G_w	—	Opravný součinitel uvažující vliv spodní vody
$H_{T,ie}$	W/K	Měrný tepelný tok prostupem z interiéru do vnějšího prostředí

Symbol	Rozměr	Veličina
$H_{T,ig}$	W/K	Měrný tepelný tok prostupem z vnitřního prostředí do zeminy
$H_{T,ij}$	W/K	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do prostoru s výrazně odlišnou teplotou
$H_{T,iue}$	W/K	Měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru přes nevytápěný prostor
$H_{V,i}$	W/K	Měrná tepelná ztráta větráním
IN	$Kč$	Investice do zateplení
n_{50}	h^{-1}	Intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa
n_{min}	h^{-1}	Nejnižší intenzita výměny vzduchu
P	m	Obvod podlahové konstrukce
\vec{q}	W/m^2	Vektor hustoty ustáleného tepelného toku
$Q_{VYT,r}$	GJ/rok	Roční spotřeba tepla
$\Delta Q_{VYT,r}$	$\%$	Procentuální snížení roční spotřeby tepla
R_i	$m^2 \cdot K/W$	Tepelný odpor konstrukce
R_{se}	$m^2 \cdot K/W$	Tepelný odpor při prostupu na vnější straně konstrukce
R_{si}	$m^2 \cdot K/W$	Tepelný odpor při prostupu na vnitřní straně konstrukce
T	$roky$	Doba návratnosti investice
U_k	$W/m^2 \cdot K$	Součinitel prostupu tepla konstrukcí
$U_{equiv,k}$	$W/m^2 \cdot K$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla
V_i	m^3	Objem místnosti

Symbol	Rozměr	Veličina
$\dot{V}_{inf,i}$	m^3/h	Objemový tok vzduchu infiltrující vytápěný prostor
$\dot{V}_{min,i}$	m^3/h	Objemový tok vzduchu požadovaný z hygienických důvodů
α	$W/m^2 \cdot K$	Součinitel přestupu tepla
ε	—	Opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek
ε_i	—	Opravný součinitel na výšku
η_o	—	Účinnost regulace
η_r	—	Účinnost rozvodu otopného média
η_{rec}	—	Účinnost rekuperační jednotky
θ_e	$^{\circ}C$	Vnější výpočtová teplota
$\theta_{e,m}$	$^{\circ}C$	Průměrná roční teplota
$\theta_{int,i}$	$^{\circ}C$	Vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{int,m}$	$^{\circ}C$	Průměrná vnitřní výpočtová teplota
θ_p	$^{\circ}C$	Teplota za rekuperační jednotkou
θ_u	$^{\circ}C$	Teplota nevytápěného prostoru
$\theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}$	$^{\circ}C$	Teplota souseď. vyt. prostoru
λ	$W/m \cdot K$	Součinitel tepelné vodivosti
μ	—	Součinitel difuzního odporu
ρ	kg/m^3	Hustota izolačního materiálu
ρ_{vzd}	kg/m^3	Hustota vzduchu
$\phi_{HL,i}$	W	Návrhový tepelný výkon
ϕ_i	W	Návrhová tepelná ztráta
$\phi_{RH,i}$	W	Tepelný zátopový výkon
$\phi_{T,i}$	W	Návrhová tepelná ztráta prostupem
$\phi_{V,i}$	W	Návrhová tepelná ztráta větráním

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - půdorys suterénu	11
Obrázek 2 - půdorys přízemí.....	12
Obrázek 3 - půdorys podkroví	13
Obrázek 4 – řez objektem	14
Obrázek 5 – záběry z termokamery	14
Obrázek 6 – teplotní profil při vedení tepla rovinnou stěnou	15
Obrázek 7 - izolace Kooltherm K17	18
Obrázek 8 – izolace Ytong Multipor.....	18
Obrázek 9 - kontaktní zateplení	19
Obrázek 10 - odvětrávané zateplení.....	20
Obrázek 11 - expandovaný polystyren EPS (bílý).....	20
Obrázek 12 - expandovaný polystyren grafitový	21
Obrázek 13 - perimetrický expandovaný polystyren	22
Obrázek 14 - extrudovaný polystyren XPS.....	23
Obrázek 15 - rohož kamenné vlny	23
Obrázek 16 - desky z kamenné vlny	23
Obrázek 17 – skelná vlna.....	24
Obrázek 18 – desky z pěnového skla	25
Obrázek 19 – deska z PIR pěny	25
Obrázek 20 – dřevovláknitá deska	26
Obrázek 21 – konopná izolace.....	27
Obrázek 22 – celulósová izolace	27
Obrázek 23 – vakuová izolace	28
Obrázek 24 – zateplení střechy mezi a pod krokvy	29
Obrázek 25 - zateplování střechy nad krokvemi.....	30
Obrázek 26 – zateplení pochozí půdy	30
Obrázek 27 – plastové okno se šesti komorami s trojsklem	32
Obrázek 28 – dřevěné okno s trojsklem.....	33
Obrázek 29 – hliníkové okno s trojsklem	33
Obrázek 30 – princip rekuperace	34
Obrázek 31 - zastoupení měrné tepelné ztráty objektu.....	51

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 - legenda místností suterénu.....	11
Tabulka 2 - legenda místností přízemí.....	12
Tabulka 3 - legenda místností podkroví.....	13
Tabulka 4 – legenda místností půdního prostoru	14
Tabulka 5 – vlastnosti materiálů pro vnitřní zateplování.....	18
Tabulka 6 - vlastnosti expandovaného polystyrenu EPS (bílého)	21
Tabulka 7 - vlastnosti expandovaného grafitového polystyrenu	21
Tabulka 8 – vlastnosti perimetrického expandovaného polystyrenu	22
Tabulka 9 – vlastnosti extrudovaného polystyrenu XPS	23
Tabulka 10 – vlastnosti kamenné vlny.....	24
Tabulka 11 – vlastnosti skelné vlny	24
Tabulka 12 – vlastnosti desek z pěnového skla	25
Tabulka 13 – vlastnosti PUR a PIR pěny.....	26
Tabulka 14 – vlastnosti dřevovláknitých desek	26
Tabulka 15 – vlastnosti konopné izolace	27
Tabulka 16 – vlastnosti celulózové izolace.....	27
Tabulka 17 -vlastnosti vakuové izolace	28
Tabulka 18 – stanovené hodnoty teplot	36
Tabulka 19 – údaje o místnostech.....	37
Tabulka 20 – Zjištěné hodnoty součinitele tepelné vodivosti.....	38
Tabulka 21 – tepelný odpor v závislosti na směru tepelného toku	39
Tabulka 22 – výpočet součinitele prostupu tepla stavební konstrukcí U_k pro modelovou stěnu.....	40
Tabulka 23 - výpočet tepelné ztráty prostupem vzorové místnosti.....	44
Tabulka 24 - minimální intenzita výměny vzduchu.....	46
Tabulka 25 – Výpočet tepelné ztráty větráním v přízemí	47
Tabulka 26 - vypočtené hodnoty tepelného zátopového výkonu.....	48
Tabulka 27 - tepelný výkon RD.....	49
Tabulka 28 - náklady za vytápění RD, původní stav	50
Tabulka 29 – náklady na provedení koncepce 1	52
Tabulka 30 – výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 1	52
Tabulka 31 – výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 1	53
Tabulka 32 – ceny za nové otvorové výplně.....	54
Tabulka 33 - výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 2.....	55
Tabulka 34 - výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 2.....	56
Tabulka 35 – náklady na provedení koncepce 3	56
Tabulka 36 - výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 3.....	57
Tabulka 37 - výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 3.....	58
Tabulka 38 – porovnání tepelné ztráty větráním obývacího pokoje	58
Tabulka 39 - výsledný tepelný výkon RD po zateplení koncepcí 4.....	59
Tabulka 40 - výpočet nákladů na vytápění RD, koncepce 4.....	60
Tabulka 41 - náklady na provedení kombinace zateplení.....	60
Tabulka 42- výsledný tepelný výkon RD po kombinaci zateplovacích variant.....	61
Tabulka 43 - výpočet nákladů na vytápění RD, kombinace koncepcí	62
Tabulka 44 – srovnání jednotlivých variant pro snížení tepelných ztrát	63
Tabulka 45 – výše podpory na různé typy konstrukcí	63
Tabulka 46 – obdržené finance z NZÚ	64
Tabulka 47 - srovnání jednotlivých variant pro snížení tepelných ztrát po obdržení dotace NZÚ.....	64

12 Seznam příloh

Příloha 1 – Výpočet U_k

Příloha 2 – Výpočet tepelných ztrát prostupem

Příloha 3 – Výpočet tepelných ztrát větráním

Příloha 4 – Výpočet tepelných ztrát pro koncepci 1

Příloha 5 – Výpočet tepelných ztrát pro koncepci 2

Příloha 6 – Výpočet tepelných ztrát pro koncepci 3

Příloha 7 – Výpočet tepelných ztrát pro kombinaci všech předchozích koncepcí

Příloha 8 – Snímky z termokamery